

乾燥 根菜類의 復元 特性

趙德濟 · 李聖昊 · 林孝珍
慶南專門大學 食品營養科

Rehydration Characteristic of Dried Root Vegetables

Duck-Jae Cho · Sung-Ho Lee · Hyo-Jin Rim
Dept. of Food and Nutrition, Kyung Nam Junior College

ABSTRACT

This study was attempted to establish the basic data for effective utilization of the dried radish and sweet potato. The rehydration characteristic was carried out from these dried root vegetables in various conditions. The following results were obtained. The rehydration value was increased in glycine solution, whereas it decreased in lactic acid solution. Also the vacuum freezing was higher than that in hot air drying, and it was higher the slow freezing than in the quick freezing. The rehydration rate and the rehydration surface area curve were composed of three stages, and these stages were corresponded to each other. At the range of initial immersion to 2min., the largest rehydration rate was showed. The activation energy obtained from the Arrhenius plot of the rehydration rate constant(K) were $3.8 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$ and $3.7 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$ for dried radish and sweet potato, respectively.

I. 서 론

식품의 저장, 수송 및 새로운 식품의 개발이라는 측면에서 식품건조의 중요성이 인식되어 일상의 생활에 건조식품의 비중이 증가하게 되었다. 그러나 식품은 건조방법에 따라 현저히 품질변화를 일으키는데 특히 건조과정중에 열풍의 영향으로 변형을 일으키든가 또는 건조과정중에 수분의 증발, 이동 등에 따른 세포 내부에서 가용성 물질 등이 표층에 이동되기 때문에 복원에 저해를 받는 경우가 많다.

식품의 복원에 관한 연구는 건조야채, 두류 및 곡류 등에 관해서 연구가 행해지고 있다^{1,2,3}. Kim⁴은 검정콩의 복원속도에 미치는 영향인자에 대한 연구에서 침지액에 당과 소금을 넣었을 경우 복원속도가 감소된다고 보고하였으며, Kim⁵은 분말 두부의 수분흡착특성에서 복원율은 냉동건조분말이 가장 높

았고 열풍건조분말은 낮았다고 하였으며, Yun⁶은 열풍건조제품에 있어서는 형상이나 세포조직이 완전히 위축변형되어 복원에 장시간이 소요되는 결점이 있다고 보고하였다.

Yokoya와 Tanado⁷는 다시마의 복원성에 관한 연구에서 복원속도는 4단계의 복원속도 구간이 있고 이 복원속도 구간은 건조속도 구간의 역상관관계가 있다고 하였으며, Shibasaki와 Asano⁸는 동결건조 당근의 조직과 복원성에 관한 연구에서 열풍건조제품에 비해서 동결건조제품의 복원율이 양호하였으며 동결온도에도 큰 차이가 있다고 보고하였다.

우리나라에서 많이 생산되고 있는 근채류로서는 무우 및 고구마 등이고 이들을 건조한 건제품은 독특한 풍미와 식감이 있는 건조식품이다. 이와 같은 전통적인 건조무우 및 고구마는 오래전부터 대부분 자연건조로 생산, 이용되고 있으며 열풍건조한 것은

주로 가공식품 소재로서 이용되고 있다. 무우 및 고구마의 저장 및 이용에 관한 연구는 많이 행해지고 있지만 건조한 무우 및 고구마의 복원 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 건조한 무우 및 고구마의 효과적인 이용의 기초자료를 얻고자 건조방법, 침지수온도, 침지용액의 종류에 따른 복원특성을 조사하였다.

II. 실험방법

1. 건조실험

실험장치는 Cho등⁹⁾의 방법에 준하였으며 이와 같은 장치에서 무우 및 고구마를 4mm로 절단하여 건조시켰다(Ta=50°C, RH=10%, U=0.8m/s).

2. 진공동결건조

완만 및 급속동결로 나누어 동결하였으며 완만동결은 -30°C, 급속동결은 dry ice(-80°C)에서 12시간 동결하였다. 동결한 시료의 건조는 TD(tray dryer)와 FD(freeze dryer)가 공용인 진공동결건조기(FTS System Co.)를 사용하여 0.02mmHg의 압력과 열판온도 30°C에서 12시간 건조시켰다.

3. 복원방법

복원에는 Yokoya¹⁰⁾의 방법에 따라 온도조절이 가능한 항온수조를 사용하였고 시료편은 금속제의 급속망으로 된 시료용기(직경 9.8cm, 높이 2.3cm)에 넣고 시료용기를 증류수에 넣어 일정시간 침지한 후 여지로써 표면 부착수를 가볍게 닦아내고 복원량을 직시천칭에서 칭량하였으며 동시에 사진촬영하여 복원표면적을 계산하였다.

4. 복원속도의 측정

복원속도는 Yokoya¹⁰⁾의 방법에 따라 복원곡선을 횡축으로 평형하게 임의로 분할하고 각 분할과 곡선과의 교차점에서 수선을 내리면 삼각형이 형성된다. 이렇게 하여 생긴 각 삼각형의 기울기를 계산하고 이 기울기를 그때의 표면적으로 나누어서 1시간당으

로 계산하여 건물 중량으로 나타내었다. 그리고 복원량과 복원율은 아래식에 의하여 구하였다.

$$\text{복원량} = (\text{복원후 중량} - \text{복원전 중량}) / \text{건물중량} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{복원율} = (\text{복원품의 수분함량} / \text{초기의 수분함량}) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

5. 복원속도 상수의 계산

복원속도 상수는 아래식에 의하여 구하였다^{10,11)}:

$$\log(W_e - W) / (W_e - W_0) = -K \cdot t \dots\dots\dots (3)$$

여기서

W₀=초기복원량

W=t시간의 복원량

W_e=평형시의 복원량

III. 결과 및 고찰

1. 복원성에 미치는 영향인자

1) 침지수 온도의 영향

건조시킨 무우 및 고구마를 침지수의 온도를 10, 30 및 50°C로 하여 임의시간 복원시켰을 때 복원시간

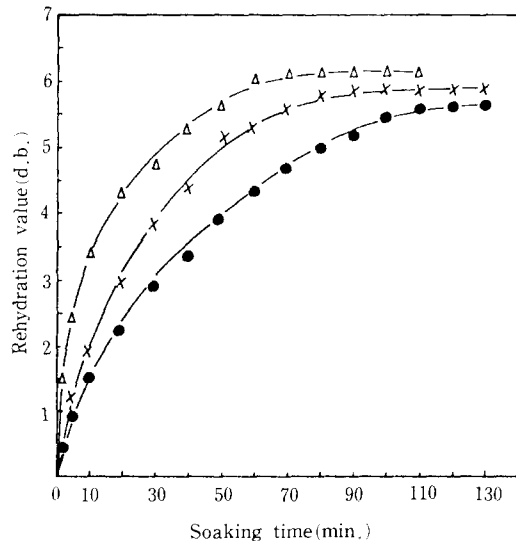


Fig. 1. Rehydration curve of dried radish in various soaking temperature. Soaking solution: Distilled water ●: 10, ×: 30, Δ: 50°C

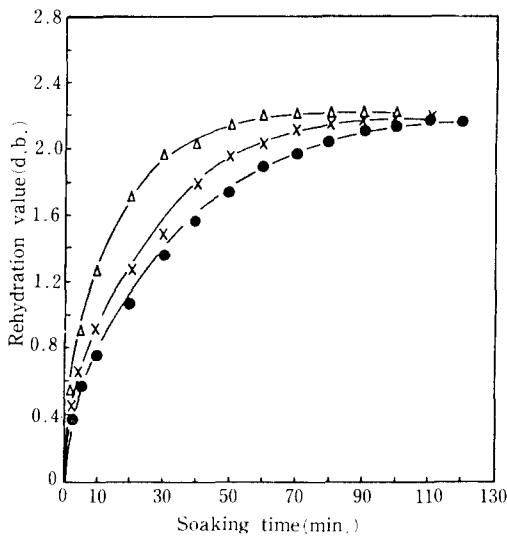


Fig. 2. Rehydration curve of dried sweet potato in various soaking temperature.

Soaking solution : Distilled water

● : 10, × : 30, Δ : 50°C

에 따른 복원량을 건물중량으로 환산하여 Fig. 1과 2에 나타내었다.

무우 및 고구마 모두 복원량은 침지 개시와 동시에 10분까지는 직선적으로 증가하다가 10분 이후부터는 증가의 정도가 곡선적으로 증가하고 다음은 완만하게 되었다. 평형에 도달할 때까지의 침지시간은 무우인 경우 10, 30 및 50°C에서 각각 110, 80 및 60분이었고, 고구마의 경우는 각각 100, 80 및 70분 정도로서 온도가 높을수록 평형에 도달하는 시간은 짧았다.

또한 평형시의 복원량은 10, 30 및 50°C에서 무우인 경우 건물 1g당 각각 5.65, 5.78 및 6.02g이었고 고구마인 경우는 2.17, 2.18 및 2.23g이었다. 그리고 평형시의 평균복원율은 무우인 경우 평균 91.0%, 고구마인 경우는 평균 89.4%로서 무우가 고구마에 비해서 복원율이 다소 좋았으나 침지시간은 길었다.

Kim등⁴⁾은 검정콩의 복원속도에 미치는 영향인자에서 온도가 증가하면서 복원속도의 증가와 함께 평형에 도달하는 시간은 급격히 감소하였다고 하였으

며, Shibasaki와 Asano⁸⁾는 동결건조 당근의 복원에 관한 연구에서 침지수의 온도가 높을수록 복원속도는 빠르지만 20 및 50°C의 온도에서 복원량은 그다지 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 본 실험에서도 무우 및 고구마 모두 온도의 증가에 따라 평형시의 복원량 및 복원율은 약간 증가하였으나 큰 차이는 없었다.

2) 침지용액의 종류에 따른 영향

건조한 무우 및 고구마를 증류수, 3% lactic acid 및 glycine용액(30°C)에 임의시간 침지하였을 때 복원량의 변화를 시간에 대하여 Fig. 3과 4에 나타내었다.

용액의 종류에 관계없이 무우 및 고구마 모두 복원개시와 동시에 복원량은 침지시간 약 10분까지는 거의 직선적으로 증가하였으며 그 후는 서서히 증가하여 평형상태에 달하였다. 평형상태에서의 복원량은 lactic acid용액, 증류수 및 glycine용액에서 무우인 경우 건조물 1g당 각각 5.03, 5.78 및 6.12g이었고

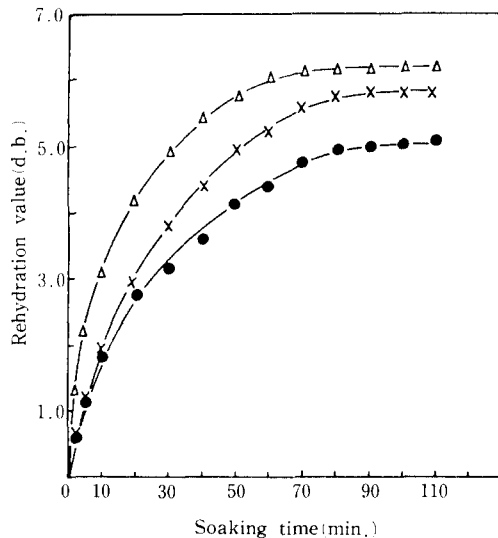


Fig. 3. Rehydration curve of dried radish in various soaking solutions.

Soaking temperature : 30°C

● : 3% Lactic acid solution

× : Distilled water

Δ : 3% Glycine solution

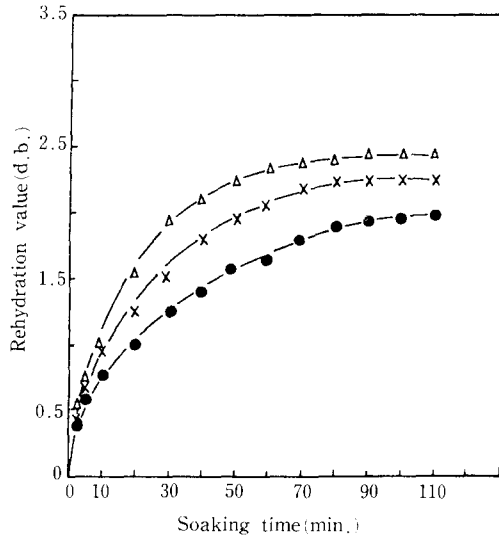


Fig. 4. Rehydration curve of dried sweet potato in various soaking solutions.

Soaking temperature: 30°C

- : 3% Lactic acid solution
- ×: Distilled water
- Δ: 3% Glycine solution

고구마인 경우에는 각각 1.93, 2.18 및 2.35g이었다.

Kim 등⁴⁾은 검정콩의 복원에 관한 연구에서 침지액에 당과 소금을 첨가하면 복원속도가 감소한다고 하였으며, Yokoya 등¹²⁾은 건조다시마의 복원성에 미치는 아미노산 및 산류의 영향에 관한 연구에서 초산 및 유산용액에 침지하면 아미노산 용액에 침지하였을 때보다 복원량이 낮았는데 그 이유는 침지중에 초산과 유산의 영향에 의해 화학성분의 변화가 일어났기 때문이라고 보고하였다.

본 실험에서도 glycine은 lactic acid보다 무우 및 고구마 모두 약 1.2배 더 많이 복원되었다. 또한 평형상태에서 복원율은 lactic acid 및 glycine에서 무우인 경우는 각각 89.0 및 91.7%였고 고구마인 경우는 85.7 및 91.2%였다.

3) 건조방법 및 동결방법의 영향

열풍건조 및 진공동결건조한 무우 및 고구마의 복원량을 시간에 대하여 Fig. 5와 6에 나타내었다.

진공동결 건조한 무우 및 고구마는 복원초기부터

급속히 복원량이 증가하여 복원 5분까지는 직선적인 증가를 나타내었으며 그후는 서서히 증가하여 평형상태에 이르렀다.

Shibasaki와 Asano⁸⁾는 동결건조 당근의 복원에 관한 연구에서 복원에는 식품의 두께 및 예비동결조건이 가장 큰 영향을 주며 완만동결이 급속동결에 비해서 복원량이 크며 동결건조 제품은 열풍건조 제품에 비해 복원속도도 빠르고 복원량도 많았다고 보고하였다.

본 실험에서도 평형상태에서의 복원량은 완만동결, 급속동결 및 열풍건조에 있어서 무우인 경우 건조물 1g당 8.51, 6.89 및 5.78g이고, 고구마의 경우는 각각 3.83, 3.10 및 2.18g이었다. 따라서 Shibasaki와 Asano⁸⁾의 보고와 같이 무우 및 고구마 모두 진공동결 건조한 것은 열풍건조한 것에 비해서 복원속도가 빠르고 복원량도 많았으며 또한 동결건조에서도 차이가 있었는데 완만동결은 급속동결에 비해 복원량

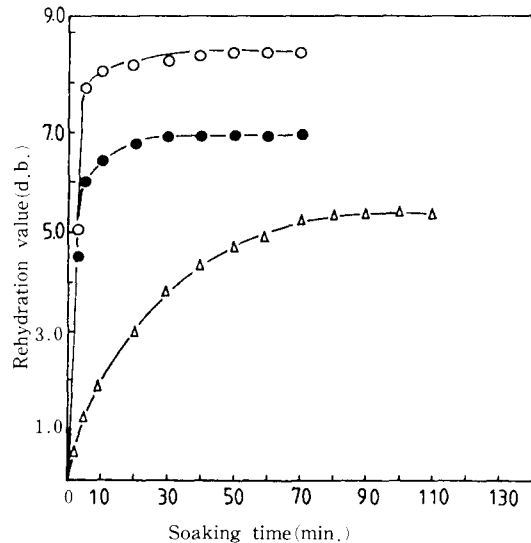


Fig. 5. Rehydration curve of vaccum freeze dried radish.

Soaking solution: Distilled water

Soaking temperature: 30°C

- : Frozen at -30°C
- : Frozen at dry ice
- Δ: Hot air dried

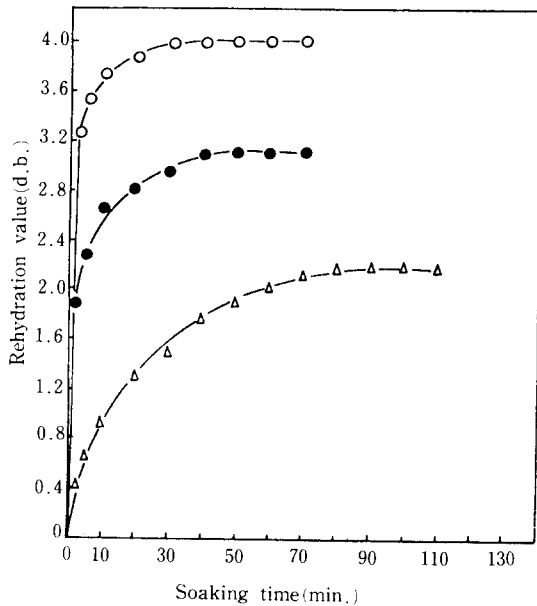


Fig. 6. Rehydration curve of vacuum freeze dried sweet potato.

Soaking solution : Distilled water

Soaking temperature : 30°C

○ : Frozen at -30°C

● : Frozen at dry ice

△ : Hot air dried

이 증가하였다. 이와 같은 현상은 급속동결을 하면 세포내에 아주 미세한 많은 얼음입자들이 생성되었다가 건조과정에서 수분이 제거되면 미세한 다공성 조직을 가지게 되므로 물의 침투가 어려워 복원이 좋지 못하게 된다고 생각된다¹³⁾.

또한 Persson¹⁴⁾은 완만동결에 의한 세포조직의 손상이 오히려 건조속도를 증가시킬 뿐 아니라 복원속도도 빨라져 오히려 완만동결이 좋다고 하였다. Lee¹³⁾는 당근, 샐러리 및 토마토의 냉동건제품을 복원시켰을 때 복원시간은 3분 정도가 좋다고 보고하였는데, 본 실험에서는 5분 정도 복원시켰을 때 완만동결 및 급속동결에 있어서 평균 복원율은 무우는 92.1%, 고구마는 93.9%이었다. 따라서 진공동결 건조한 무우 및 고구마의 복원에는 30°C의 물속에서 5분 정도면 충분하리라고 생각되었다.

2. 복원 표면적과 복원속도

건조한 무우 및 고구마를 30°C의 증류수 중에서 임의시간 침지했을 경우 표면적 증가 및 복원속도를 함수율에 대하여 각각 Fig. 7과 8에 나타내었다.

복원속도는 침지개시부터 2분까지 최고의 복원속도를 나타내었으며 이때 그 값은 무우인 경우 2.39g/cm²·hr이었고 고구마의 경우는 1.61g/cm²·hr이었으며, 무우가 고구마보다 복원속도가 큰 값을 나타내었다. 그후 복원속도는 무우 및 고구마 모두 함수율의 증가에 관계없이 점차적으로 감소하였다.

그리고 복원속도는 3단계의 복원속도기간을 나타내고 하나는 복원량의 증가에 비례하여 기울기가 급속히 감소하는 복원속도단계, 다음은 기울기가 완만한 복원속도단계, 그 다음은 한층 완만한 복원속도 단계를 나타내었다. 한편 표면적증가도 기울기가 다른 3단계의 표면적 증가기가 나타났고, 이 3단계의 각 기간은 복원속도에 나타났던 3단계의 각 기간에

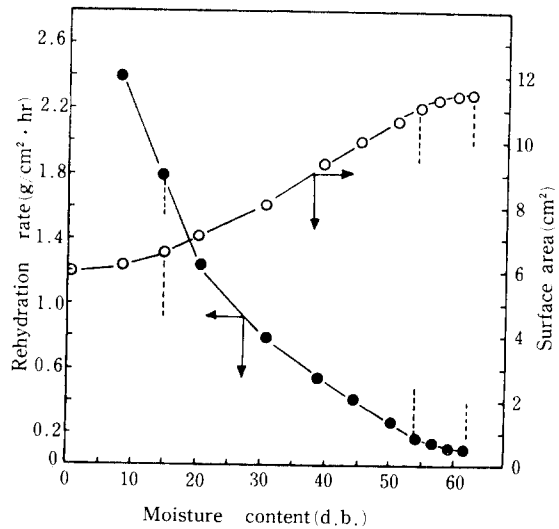


Fig. 7. Rehydration between rehydration rate and increased area by the rehydration of dried radish.

Soaking solution : Distilled water

Soaking temperature : 30°C

○ : Surface area

● : Rehydration rate

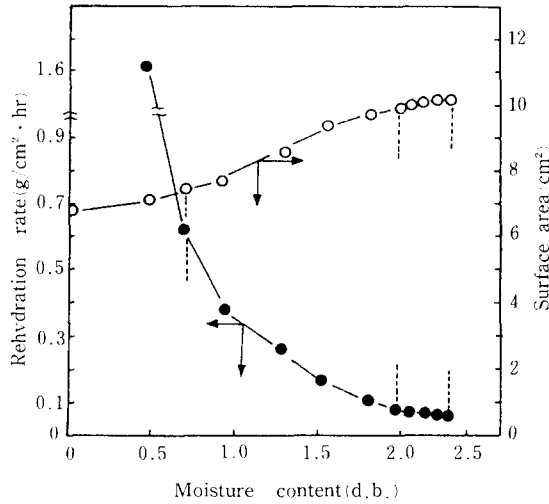


Fig. 8. Relationship between rehydration rate and increased area by the rehydration of dried sweet potato.

Soaking solution : Distilled water
 Soaking temperature : 30°C
 ○ ; Surface area
 ● ; Rehydration rate

대응해서 나타남을 알 수 있었다.

Yokoya¹¹⁾는 다시마의 복원속도곡선과 복원표면적 곡선에도 3단계의 기간이 있고 이 3단계는 서로 대응해서 일어난다고 보고하였다. 또한 Yokoya와 Tadano⁷⁾는 갈조류의 연구에서 복원속도기간은 거의 건조속도기간의 각 단계에 대응해서 나타난다고 보고하였다.

3. 복원속도 상수

침지수의 온도 변화에 따른 복원속도상수를 구하기 위하여 복원량의 변화에서 부터 $\log(W_e - W) / (W_e - W_0)$ 를 침지시간에 대해서 plot하여 Fig. 9와 10에 나타내었다. 무우 및 고구마 모두 각 온도에 대하여 직선적인 관계가 얻어졌으며 얻어진 직선의 기울기에서 부터 복원속도상수를 구하였다. 복원속도 상수 K값은 10, 30 및 50°C에서 무우인 경우 0.98×10^{-2} , 1.65×10^{-2} 및 $2.19 \times 10^{-2} / \text{min}$ 이고, 고구마의 경우는 각각 1.26×10^{-2} , 1.79×10^{-2} 및 $2.66 \times 10^{-2} / \text{min}$ 로

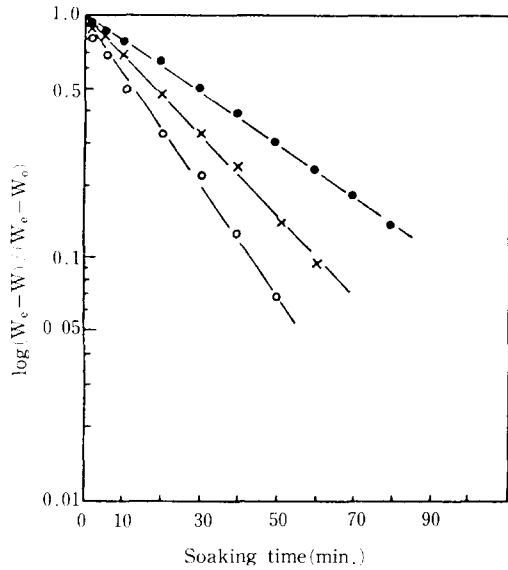


Fig. 9. K-value of water absorbing in various soaking temperature of dried radish.

Soaking solution : Distilled water
 ● : 10, × : 30, Δ : 50°C

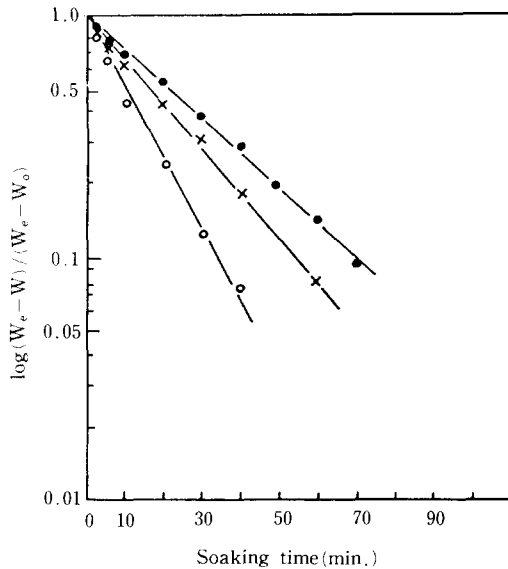


Fig. 10. K-value of water absorbing in various soaking temperature of dried sweet potato.

Soaking solution : Distilled water
 ● : 10, × : 30, Δ : 50°C

서 온도가 증가할수록 복원속도 상수값은 증가하였다.

복원속도 상수의 온도 의존성을 살펴보기 위하여 복원속도 상수를 Arrhenius의 활성화 에너지 관계식을 이용하여 나타낸 것은 Fig. 11과 같으며, 무우 및 고구마 모두 직선관계를 나타내었다. Kim등⁴⁾은 감정콩의 복원에 관한 연구에서 30%, 40% 및 50%의 수분함량에 도달하는 활성화 에너지는 수분함량이 증가하면서 증가함을 보여주었다고 보고하였다.

Fig. 11의 복원속도의 대수값과 절대온도의 역수값의 관계로부터 활성화 에너지를 구한 결과 무우는 $3.80 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$ 이고 고구마의 경우는 $3.70 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$ 으로서 무우 및 고구마는 비슷한 활성화 에너지를 나타내었다

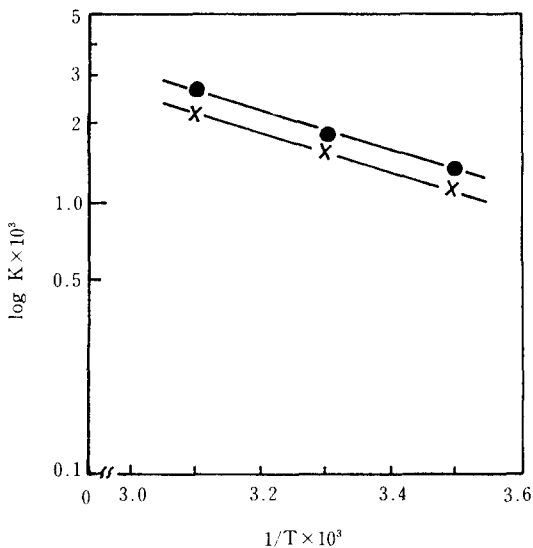


Fig. 11. Arrhenius plots of the rehydration rate constant of dried radish and sweet potato.

× : Radish, ● : Sweet potato

IV. 요약

건조한 무우 및 고구마의 효과적인 이용에의 기초 자료를 얻고자 여러가지 조건에 따른 복원 특성을

조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

Glycine용액에서 복원량의 증가는 컷으나 lactic acid용액에서는 적었고 진공동결 건조는 열풍건조에 비해서 복원량이 많았으며, 완만동결의 경우가 급속동결에 비해 복원량이 증가하였다. 또한 복원속도 및 복원 표면적곡선은 3단계로 나타났으며, 이 3단계는 서로 대응해서 일어났고 침지개시부터 2분까지가 최대의 복원속도를 나타내었다. 그리고 복원속도 상수 K값의 활성화에너지는 무우 및 고구마에서 각각 $3.8 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$, $3.7 \times 10^3 \text{ cal/g mol}$ 로 얻어졌다.

V. 참고문헌

- Holloway, W.D. and Greig, R.I. : Water holding capacity of hemicelluloses from fruits, vegetables and wheat bran. *J. Food. Sci.*, **46**, 1632-1633(1984)
- Lee, B.H. : Drying Characteristics of filefish fillet. *Korean J. Nutr. and Food*, **11**(1), 37-43(1982)
- Nakamura, I., Kurusu, K. and Nakagawa, M. : Effect of temperature on water absorption coefficient of soybeans in soaking process. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **26**(8), 362-364(1979)
- Kim, W.J., Shin, K.S., Kim, C.K. and Yang, C.B. : Factors affecting hydration rate of black soybeans. *Korean J. Food Sci., Technol.*, **17**(1), 41-44 (1985)
- Kim, D.M., Chang, K.S. and Yoon, H.K. : Moisture sorption characteristics of powered soybean curd. *Korean J. Food Sci., Technol.*, **12**(4), 292-298(1980)
- Yun, C.R., Mun, Y.H. and Ram, K.S. : *Food preservation*. Sun Jin Pub. Co., p.63 (1983)
- Yokoya, K. and Tadano, T. : Studies on the drying of phaeophyta brown-algae rehydration of annual Laminaria japonica. *Bull. Coll. Agr. Vet. Med., Nippon Univ.* **28**, 321-326(1981)
- Shibasaki, K. and Asano, M. : Studies on freezing and freeze drying of food(2). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **12**(4), 137-143(1965)

9. Cho, D.J., Hur, J.H. and Kim, H.Y. : Influencing factors in drying and shrinking characteristics of root vegetables. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 21(2), 203-211(1989)
 10. Yokoya, K. : On the drying shrinkage of Miyabe. *J. Soc. Agr. Che. Japan*, 51(5), 281-286 (1977)
 11. Yokoya, K. : Rehydration characteristic and texture of cultured laminaria japonica. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish*, 47(12), 1637-1641(1981)
 12. Yokoya, K. : Effect of amino acid and acids on rehydration of dried. *Bull. J. Soc. Sci. Fish*, 49(1), 103-107(1983)
 13. Lee, Y.C. : Freezing drying of food. *Food Science*, 14(3), 34-41(1981)
 14. Persson, P.O. : Freeze drying and advanced food technology. *New York Acad.*, p. 112 (1975)
-

(1991년 1월 25일 수리)