

동결속도에 따른 닭고기의 냉동 저장중 이화학적 변화

김영호 · 양승용 · 이무하
한국과학기술원 식품공학연구소
(1987. 9. 28 接受)

The Effect of Freezing Rates on the Physico-Chemical Changes of Chicken Meat during Frozen Storage at -20°C

Young Ho Kim, Seung Yong Yang and Moo Ha Lee
Food Sci. & Technol. Lab., KAIST
(Received September 28, 1987)

SUMMARY

In order to select the optimum freezing condition for the minimization of physico-chemical changes such as protein denaturation, lipid oxidation and pH change, the effect of freezing rates on the poultry meat quality changes was studied during frozen storage at -20°C.

Results obtained from the experiments are as follows.

When chicken breast and leg meat were frozen at above -3cm/hr of the freezing rate, pH change during frozen storage was minimal. Although TBA value and free fatty acids were increased during frozen storage, the effect of freezing rates was different depending on muscle types. In terms of protein extractability, the extractability of salt soluble protein and water soluble protein were the highest at above -3cm/hr of the freezing rate during frozen storage. This trend was more obvious with breast meat than leg meat.

Considering the above-described results, above -3cm/hr of the freezing rate seemed to be the optimum freezing condition for chicken meat because of the least pH change, low TBA value and high protein extractability.

I. 緒 論

식육은 도살후 사후감적단계에 들어가게 되며, 감적 중에 발생하는 근세포의 성분변화에 의하여 탄력성 및 보수성 등에 나쁜 영향을 받기 때문에 고기의 냉결정 이상의 온도에서 원료육을 저장하여 고기를 연화시키고 맛과 향기를 개선시키는 숙성과정을 거치게 된다(Marsh, 1977; Jennigs 등, 1978). 그러나 식육을 장기보존하기 위해서는 냉결정 이하의 동결온도에서 냉동저장하는 방법이 널리 이용되고 있다.

냉동육은 동결속도, 저장온도 및 동물의 종류에 따라 신선육과는 다른 이화학적 특성을 보여주고 있으며(Yano, 1968; Yamoto 등, 1977; Miller 등, 1980), 냉동저장기간이 길어짐에 따라 단백질추출성이 감소되고 산패가 증가되며 조리시 조리감량이 증가하는 현상을 가져오는 것으로 알려져있기 때문에(Sebranek 등, 1978) 냉동육을 식육으로 이용하거나 가공원료로 사용하기 위해서는 동결 및 냉동저장시 야기되는 육질변화를 최소화시키는 조건이 고려되어야 한다.

본 실험의 목적은 냉동육류의 효율적 활용을 모

색하고자, 현재 100% 자급도를 보여주고 있으나 주기적인 생산과잉으로 육류수급안정에 차질을 빚고 있는 닭고기를 선택하여, 백색근인 가슴살과 적색근인 다리살을 각각 구분하여 동결속도를 달리하여 동결시켰으며 -20℃ 냉동온도에서 4개월간 저장하여 저장중 발생하는 이화학적성질을 추적하여 최적동결조건을 찾고자 하였다.

II. 材料 및 方法

1. 재 료

부분육으로 시판되고 있는 발골된 닭가슴살과 다리살중에서 사후 24시간 경과된 것을 구입하여 4℃ 냉장온도에서 5시간 동안 냉각시킨 다음 동결조건을 달리하여 동결시켰다. 닭고기의 일반성분은 Table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Chemical composition of chicken meat (unit : %)

	Mois- ture	Crude protein	Crude fat	Ash
breast meat	72.72	22.35	2.06	1.71
leg meat	70.85	17.38	9.09	1.08

2. 동결방법

4℃로 냉각된 닭고기를 세절하여 Ribbon mixer로 1분간 혼합시킨 다음 직경 10cm의 원통형 틀에 넣어 1,000 psi 압력으로 압착시켰으며, 동결중 수분감소 및 동결소를 방지하기 위하여 알루미늄 포장지로 포장하여 동결시켰다. 이때 사용한 동결기는 송풍동결기 이용하여 냉동온도 -20℃~-40℃, 송풍속도 2~4 m/sec의 동결조건을 변화시켜 동결하였으며 육심부온도가 -20℃에 도달될 때 동결을 완료하였다. 동결온도측정은 육심의 기하학적 중심에 thermocouple를 주입하여 동결완료시까지의 온도변화를 1분 간격으로 기록하였다.

동결된 닭고기는 polyethylene 포장재료를 사용하여 진공포장한 다음 -20℃ 냉동고에서 4개월간 저장하였다.

3. 분석방법

닭고기의 일반성분 분석은 A.O.A.C. 방법(1984)에 준하여 실시하였으며, 냉동저장 닭고기의 pH는 닭고기 10g에 증류수 100ml 첨가하여 2분간 균질화시킨 다음 유리전극 pH meter로 측정하였다.

한편 TBA가(thiobarbituric acid value)는

Witte 등(1970)의 방법, 유리지방산함량은 A.O. A.C. 방법을 약간 수정한 이유팡과 성삼경(1984)의 방법으로 측정하였다. 염용성단백질(salt soluble protein)과 수용성단백질(water soluble protein)은 Acton과 Soffle(1969)의 방법을 이용하여 조제하였으며, 조제된 추출성단백질의 농도는 Biuret 방법을 약간 변형한 Umemoto(1966)의 방법에 따라 545 nm에서의 흡광도로 측정하였다. 이때 작성된 표준곡선은 bovine serum albumin으로 작성되었으며 micro-kjeldahl 법으로 점정하였다.

III. 結果 및 考察

1. 동결온도 및 송풍속도에 따른 닭고기의 동결속도

본 실험의 결과로 표시한 동결속도는 Plank (1963)의 동결속도정의에 따라 빙결전선이 진행되는 속도의 평균치인 0℃에서 -5℃까지 내려가기 위해 소요되는 시간으로, 표면에서 중심점까지의 거리를 나눈 값으로 나타냈으며, 동결조건에 따른 닭고기의 동결속도값은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2. Freezing rates(cm/hr) of chicken meat depending on the freezing conditions

Freezing conditions	Breast meat	Leg meat
-20℃ ; 2 m/sec	0.73 ± 0.13 ^a	0.86 ± 0.03 ^d
-20℃ ; 4 m/sec	1.01 ± 0.05 ^a	1.10 ± 0.08 ^d
-30℃ ; 2 m/sec	0.76 ± 0.04 ^a	0.99 ± 0.13 ^d
-30℃ ; 4 m/sec	1.48 ± 0.04 ^b	1.75 ± 0.04 ^e
-40℃ ; 2 m/sec	1.74 ± 0.11 ^b	1.93 ± 0.10 ^e
-40℃ ; 4 m/sec	3.61 ± 0.14 ^c	3.42 ± 0.09 ^f

* Values with the different superscript in the same poultry part are significantly different at the 5% level.

* Values with the different superscript in the same freezing condition are significantly different at the 5% level.

송풍동결기를 이용하여 닭고기를 동결시키면, -20℃ 동결온도에서는 송풍속도의 차이에 따른 동결속도값에 유의적차이가 없는 반면 동결온도가 낮아질수록 송풍속도가 닭고기의 동결에 미치는 영향이 커져 -30℃이하의 동결온도에서는 송풍속도에 따른 동결속도값에 유의적 차이를 보이고 있다. 그 결과

부위육의 종류에 관계없이 동결온도 및 송풍속도가 각각 -20°C ; 2 m/sec , -20°C ; 4 m/sec , -30°C 2 m/sec 일 경우 서로간에 유의성이 없었으며 -30°C ; 4 m/sec , -40°C ; 2 m/sec 의 동결조건에서도 유의적 차이가 보이질 않고 있다 (Table 2). 이러한 경향은 닭고기를 6 가지 동결조건으로 동결시킬 경우 유의적 차이를 지닌 3군으로 나눌수 있으며 이때의 동결속도를 가장 느린 순서부터 구해보면 가슴살 및 다리살이 각각 $0.83 \pm 0.15\text{ cm/hr}$; $0.98 \pm 0.13\text{ cm/hr}$, $1.61 \pm 0.16\text{ cm/hr}$; $1.84 \pm 0.11\text{ cm/hr}$, $3.61 \pm 0.14\text{ cm/hr}$; $3.42 \pm 0.09\text{ cm/hr}$ 의 동결속도값을 나타내어 Ciobanu(1976)의 동결속도 분류에 따른 5 cm/hr 이상의 급속동결을 얻을 수는 없었지만, 같은 동결조건으로 닭고기를 동결시켰을 경우 부위육의 종류에 따라 동결속도의 차이가 존재함을 보여주고 있다.

2. 동결속도의 차이에 따른 냉동저장 닭고기의 물리화학적 변화

1) pH

근육내 pH변화는 사후변화의 중요한 현상중의 하나로서 냉동저장중 근원섬유단백질의 변화를 야기하게 되고, 그 결과 보수력 및 연화도에 영향을 줄 뿐만 아니라 저장성까지도 밀접한 관계를 지니고 있는 것으로 알려져 있다 (Batesmith와 Bendall, 1949).

동결속도에 따른 가슴살 및 다리살의 냉동저장중 pH 변화는 Fig. 1, 2에 보는 바와 같다.

사후 24시간 경과된 신선육의 pH는 가슴살이 5.7~5.9, 다리살이 6.4~6.5로 나타나 같은 닭고기라 할지라도 부위에 따라 사후강직 및 해빙속도의 차이가 존재함을 시사해 주고 있으며, 전반적으로 동결속도에 관계없이 저장 12주까지는 pH의 상승 및 하강현상이 불규칙적으로 일어났으나 16주 저장육에서는 신선육보다 다소 증가하는 추세를 보이고 있다.

이와같이 냉동저장중 야기되는 pH변화의 원인으로서는 저장기간에 따라 산성염 및 알카리성염의 석출, 단백질과 이온물질과의 반응, 효소작용의 차이에 따른 것으로 해석되고 있으며 (Berg, 1961), 부위육의 종류에 관계없이 3 cm/hr 이상의 빠른 동결속도로 가슴살 및 다리살을 동결시켜 저장하면 2 cm/hr 이하의 느린 동결속도로 동결시켰을 경우와는 달리 pH 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 있어 Vanlogtestijn(1967)이 보고한 바와 같이 냉동저장중 pH 상승은 세균수, 풍미 및 육색과 일정 상관성을 지니기 때문에 식육의 장기보존을 위해서

는 낮은 pH를 오랫동안 유지시키는 3 cm/hr 이상의 빠른 동결속도로 동결시키는 것이 바람직한 것으로 생각되었다.

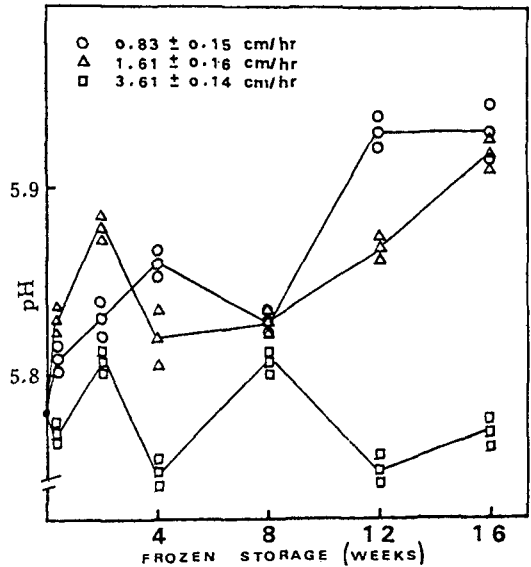


Fig. 1. Effect of freezing rates on the pH of chicken breast meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

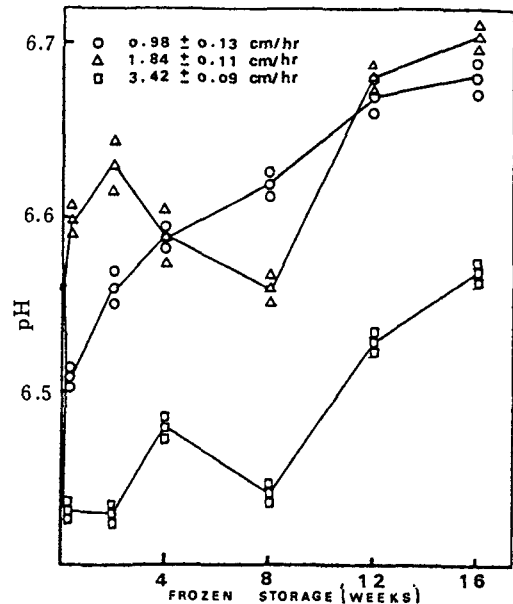


Fig. 2. Effect of freezing rates on the pH of chicken leg meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

2) 지방산패

냉동저장중의 TBA가 변화량을 530 nm에서의 흡광도로 Fig. 3, 4에 나타냈다.

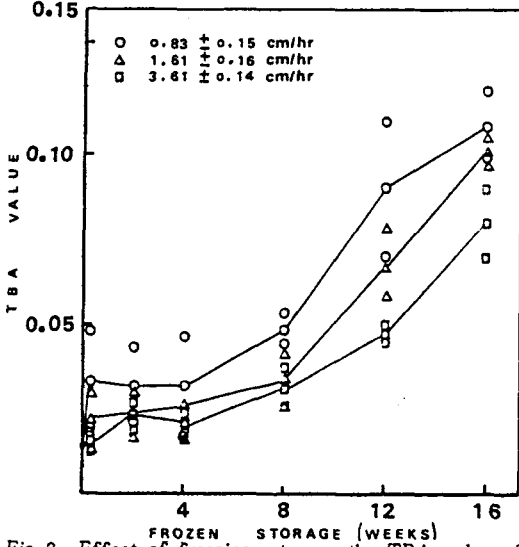


Fig. 3. Effect of freezing rates on the TBA value of chicken breast meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

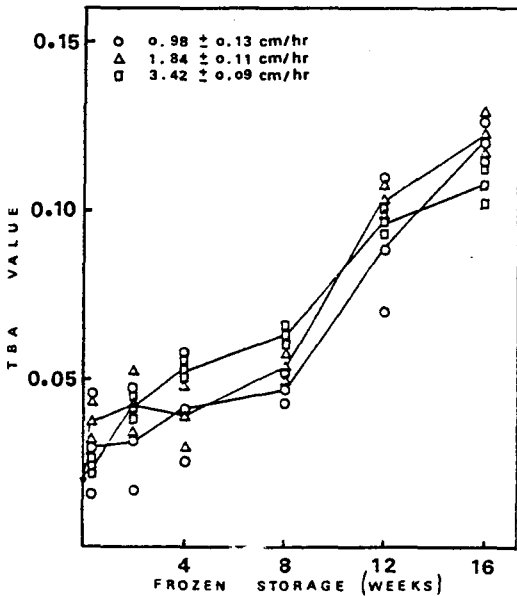


Fig. 4. Effect of freezing rates on the TBA value of chicken leg meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

동결전 닭고기의 TBA 가는 가슴살이 0.015 ± 0.005 , 다리살이 0.020 ± 0.005 로 나타나 부위 육간의 유의적 차이를 발견할 수 없었으며 저장기간이 길어짐에 따라 점차 증가하여 저장 16주후에는 가슴살이 0.08~0.10, 다리살이 0.10~0.12로 나타나 신선육보다 5~6배정도 증가하였다. 이러한 경향은 가슴살인 경우 동결속도가 빠를수록 낮은 TBA가를 보여 산패가 지연되는 현상을 보여주고 있으나, 다리살은 동결속도의 차이에 따른 유의성을 발견할 수 없었다. 그러나 전체적으로 볼 때 가슴살보다 다리살의 TBA가 높은 경향을 보이고 있어 Pikul등(1984)이 보고한 바와 같이 냉동 저장중에서 다리살보다 가슴살이 산패에 대하여 보다 안정한 것으로 나타났다.

한편 단백질변성의 원인이 되는 것으로 알려진 (Polymenidis, 1978) 유리지방산의 냉동저장중 생성비율은 Fig. 5, 6에 나타낸 바와 같다.

동결전 닭고기의 총지방함량에 대한 유리지방산함량 비율은 가슴살이 $2.07 \pm 0.06\%$, 다리살이 $0.91 \pm 0.05\%$ 로 나타났으며 저장기간이 길어질수록 점차 증가하여 저장 16주후에는 $140 \pm 5\%$ 까지 증가하였다.

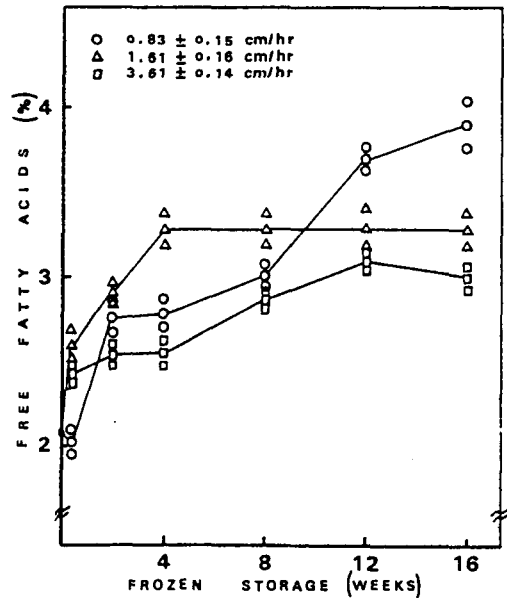


Fig. 5. Effect of freezing rates on the free fatty acids content of chicken breast meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

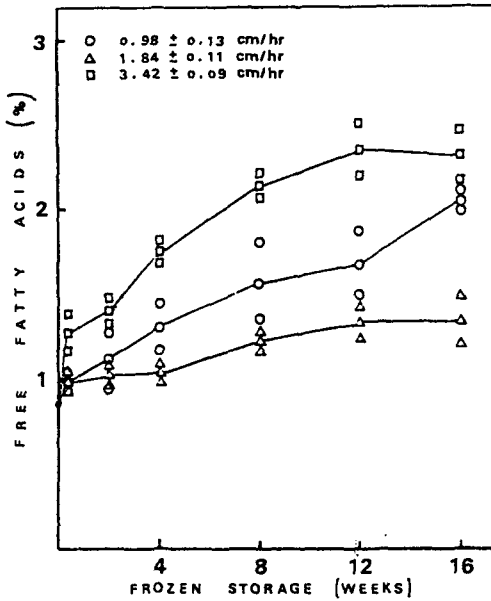


Fig. 6. Effect of freezing rates on the free fatty acids content of chicken leg meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

그러나 전반적으로 볼 때 다리살보다 가슴살의 유리지방산 생성비율이 높게 나타나고 있으며, 동결속도의 차이에 따라 유리지방산 생성비율은 다르게 나타나고 있다. 즉 가슴살은 3 cm/hr 이상의 동결속도로 동결시켰을 때 가장 낮게 나타나고 있는 현상은 더욱 연구되어야 한다고 생각되었다.

3) 추출성 단백질

식육단백질은 동결변성이 잘 일어나는 단백질로서 특히 globulin계의 myoglobin 변성이 두드러지며 (Asghar와 Yeats, 1978), 냉동저장중 근원섬유단백질의 구조변형이 일어나 불용성의 복합물질이 형성되어 경도가 증가되며 보수성이 감소되는 결과를 초래하는 것으로 알려져 있다 (Yang 등, 1970).

염용성단백질 및 수용성단백질의 냉동저장중 추출성변화를 나타낸 결과가 Fig. 7~10에 나타나 있다.

염용성단백질 (Fig. 7, 8)은 동결직후 추출성의 저하를 보여주고 있으나 8주저장까지 추출성이 증가한 후 12주저장이후 감소하는 경향을 나타내고

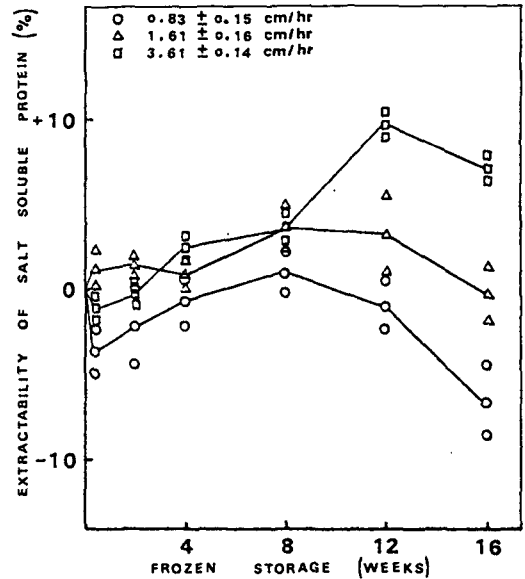


Fig. 7. Effect of freezing rates on the salt soluble protein extractability of chicken breast meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

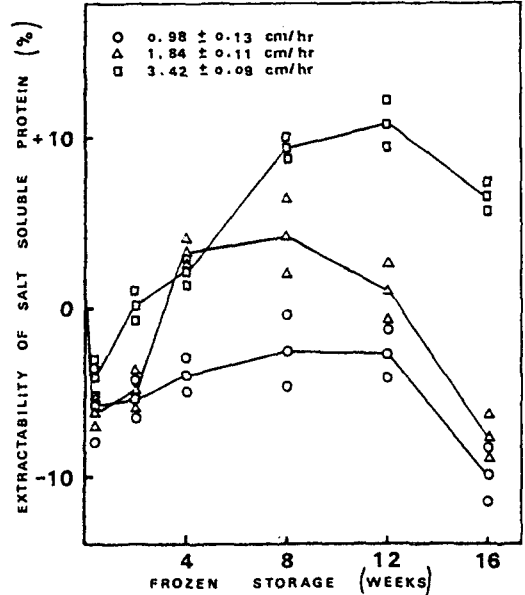


Fig. 8. Effect of freezing rates on the salt soluble protein extractability of chicken leg meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

있으며 동결속도를 빨리하여 동결시킨 가슴살 및 다리살의 추출성이 높게 나타났다. 이와같이 냉동저장 중에 야기되는 염용성 단백질의 추출성원인으로는 actin-myosin 상호작용의 변화, thin filament에서의 조절단백질의 유리 및 Z-line의 붕괴 등에 기인되는 것으로 예상되었으나, 동결속도의 영향을 살펴볼 때 동결속도가 빠를수록 가슴살 및 다리살의 염용성 단백질 추출성은 높게 나타나고 있어, 어육에서 동결속도보다 저장온도가 염용성 단백질의 추출성 변화에 미치는 영향이 크다고 보고한 Fukuda 등(1981)의 결과를 비교하면 동물의 종류에 따라 염용성 단백질의 추출성에는 저장온도 뿐만 아니라 동결속도의 영향도 큰 것을 알 수 있다. 수용성 단백질의 추출성 (Fig. 9, 10) 역시 부위육의 종류에 관계없이 3 cm/hr 이상의 빠른 동결속도에서 가장 높게 나타나고 있으나 염용성 단백질과는 달리 저장기간이 길어짐에 따라 서서히 감소하는 경향을 보이고 있다.

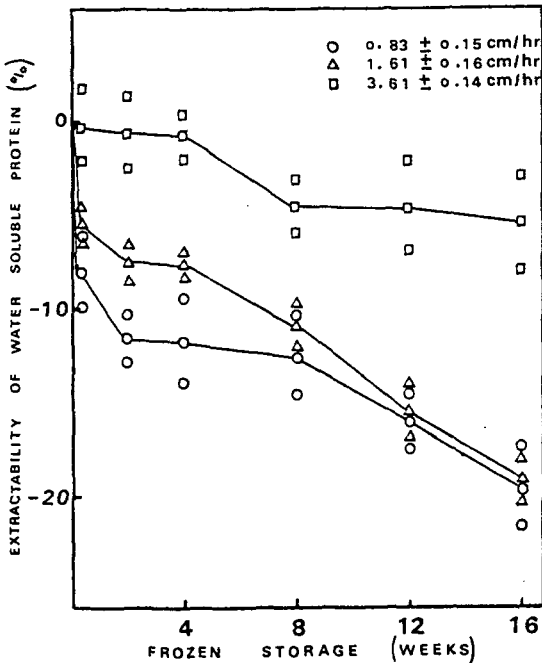


Fig. 9. Effect of freezing rates on the water soluble protein extractability of chicken breast meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

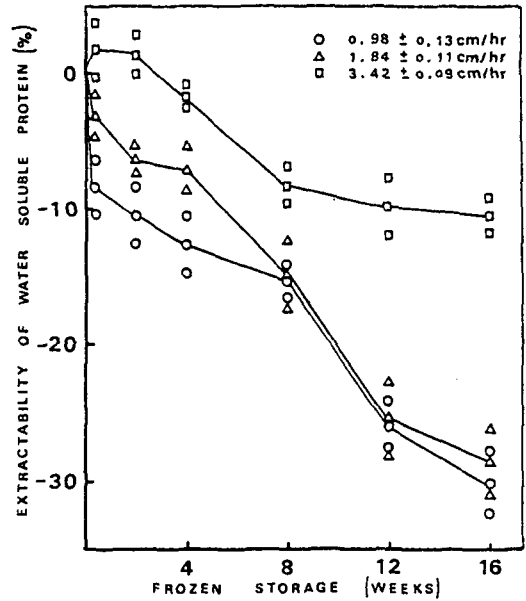


Fig. 10. Effect of freezing rates on the water soluble protein extractability of chicken leg meat during frozen storage. Standard error of the mean is indicated with the appropriate symbol above and below the mean.

IV. 摘 要

식육을 장기저장할 때 발생하는 단백질의 변성과 해동시 육량감소를 줄이기 위한 방법의 하나로써 최적동결방법을 모색하고자 동결속도에 따른 저장중 닭고기의 물리화학적 변화를 조사한 결과 동결속도가 빠를수록 pH 증가가 지연되어 장기보존의 가능성을 보였다. TBA가 및 유리지방산 생성율은 저장기간이 길어짐에 따라 증가하는 추세를 보이고 있으나 부위육의 종류에 따라 동결속도의 영향이 다르게 나타나고 있다. 그러나 단백질추출성을 비교할 때 염용성단백질과 수용성단백질의 추출성은 부위육의 종류에 관계없이 3 cm/hr 이상의 동결속도에서 저장기간중 추출성이 가장 높게 나타났으며, 이러한 경향은 다리살보다 가슴살의 추출성이 더욱 높게 유지되고 있다.

이상의 결과에서 송풍동결기를 이용하여 닭고기를 동결시킬 경우 3 cm/hr 이상의 동결속도로 동결시켜 냉동저장할 때 좋은 품질의 냉동육을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

사의: 본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구과제의 지원으로 이루어졌으므로 지면을 통해 깊은 사의를 표합니다.

V. 引用文献

1. Acton, J. C., and R. L. Saffle. 1969. Preblended and prerigor meat in sausage emulsions. *Food Tech.*, 23: 367-371.
2. Asghar, A., and N. T. M. Yeats. 1978. The mechanism for the promotion of tenderness in meat during post-mortem aging process. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 8(3): 1.
3. Association of official analytical chemists. 1984. Arlington, Virginia.
4. Awad, A., W. D. Powrie, and O. Fennema. 1968. Chemical deterioration of frozen bovine muscle at -4°C. *J. Food Sci.*, 33: 227-235.
5. Bate-Smith, E. C., and J. R. Bendall. 1949. Factor determining the time course of rigor mortis. *J. Physiol.*, 110: 47-65.
6. Berg, Van den, L., 1961. Changes in pH of some frozen foods during storage. *Food Tech.*, 15: 434-437.
7. Ciobanu, A., 1976. Freezing, in "Cooling technology in the food industry" (A. Ciobanu ed.,) Abacus, Turnbridge Wells, Kent.
8. Fukuda, Y., K. Kakehata, and K. Arai. 1981. Denaturation of myofibrillar protein in deep-sea fish by freezing and storage. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47(5): 663-672.
9. Jennigs, T. G., B. W. Berry, and A. L. Joseph. 1978. Influence of fat thickness, marbling and length of aging on beef palatability and shelf-life characteristics. *J. Ani. Sci.*, 46(3): 658-665.
10. Marsh, B. B., 1977. The basis of tenderness in muscle foods. *J. Food Sci.*, 42(2): 295-297.
11. Miller, A. J., S. A. Ackerman, and S. A. Palumbo. 1980. Effects of frozen storage on functionality of meat for processing. *J. Food Sci.*, 45: 1466-1471.
12. Pikul, J., D. E. Leszczynski, P. J. Buchtel, and F. A. Kunmerow. 1984. Effects of frozen storage and cooking on lipid oxidation in chicken meat. *J. Food Sci.*, 49:838-843.
13. Plank, R., 1963. A simplified model for freezing time calculations in food. *J. Food Sci.*, 47: 1201.
14. Polymenidis, A., 1978. Chilling and freezing meat. *Die Fleischwirtschaft*. Nr. 5: 728-733.
15. Sebranek, J. G., P. N. Sang, R. E. Rust, D. G. Topel, and A. A. Kraft. 1978. Influence of liquid nitrogen, liquid carbon dioxide and mechanical freezing on sensory properties of ground beef patties. 43: 842-848.
16. Umemoto, S., 1966. A modified method for estimation of fish muscle protein by biuret method. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 32(5): 427-435.
17. Vanlogtestijn, J. G., 1967. *Die Fleischwirtschaft*. 19: 240.
18. Witte, V. C., G. F. Krause, and M. E. Bailey. 1970. A new extraction method for determining 2-Thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.*, 35: 592-585.
19. Yamamoto, K., K. Samejima, and T. Yasui. 1977. A comparative study of the changes in hen pectoral muscle during storage at 4°C and -20°C.
20. Yang, R., A. Okitani, and M. Fujimaki. 1970. Studies on myofibril from the stored muscle. *Agr. Biol. Chem.*, 34: 1765-1772.
21. Yano, N. H., 1968. Preservation of milk, meat and poultry products at low temperatures. *Jap. Ani. Sci.*, 39(3): 91-99.
22. 이유방, 성삼경, 1984. 식육과 육제품의 분석실험. 선진문화사. 136-138.