

초음파처리가 노계 가슴육 근원섬유단백질의 수용화에 미치는 영향

조영준 · 이남혁* · 양승용 · 김영봉 · 김영호 · 임상동 · 전기홍 · 김기성

한국식품연구원

Effects of Sonication on the Water-solubilization of Myofibrillar Proteins from Breast Muscle of Spent Hen

Young Jun Cho, Nam Hyouck Lee*, Sung Yong Yang, Young Boong Kim,
Young Ho Kim, Sang Dong Lim, Ki Hong Jeon, and Kee Sung Kim
Korea Food Research Institute, Gyeonggi-do 566-746, Korea

ABSTRACT

Effects of sonication on water-solubilization of myofibril from breast muscle of spent hen effects investigated in this study. To evaluate effect of salt concentration and pH, salt concentration was varied with range from 0.1 to 0.8 M, and pH was varied with range from 6.0 to 8.0. Solubility, SDS-PAGE, viscosity and ATPase activity of sonicated myofibril were measured. Solubility of myofibrillar protein containing 0.1 M NaCl at pH 8.0 after sonication was above 90%. Main components of soluble protein by SDS-PAGE were myosin heavy chain and actin. That is, it indicated breaking of myofibril structure by sonication. Also, viscosity of soluble protein increased, but Ca- and Mg-ATPase activities decreased by increasing sonication time. From these results, we concluded that most of myofibrillar proteins were denatured by sonication.

Key words : myofibril, water-solubilization, sonication, spent hen

서 론

근육은 red fiber와 white fiber의 다양한 혼합물이며 상대적으로 함량비에 따라 white muscle과 red muscle로 분류된다(Yang *et al.*, 1986). 근세포를 구성하고 있는 단백질 중 가장 많은 비율을 차지하는 근원섬유단백질은(Lawrie, 1985) 구조단백질로서의 형태유지의 기능뿐만 아니라 동물체의 가장 중요한 기능 중의 하나인 근수축 운동을 동시에 나타낸다(Huxely, 1963). 이와 같은 구조 단백질은 또한 동물성 단백질을 공급하는 육제품의 재료로서 널리 활용되어 왔으며, 근육의 물리 화학적 성질에도 차이가 있을 것으로 예상되어져 왔다(Yang, 1986). 이후 근섬유의 구성단백질에 대한 연구가 체계적으로 진행되어 그 생화학적 성질 및 구조와 기능의 관계에 대한 많은 정보들이 제공되었다(Alberts *et al.*, 1983).

일반적으로 육제품의 결착력 및 보수성 등 제품특성에 가장 중요한 기능을 하는 근원섬유단백질이 육가공산업에

서 매우 중요한 부분을 차지하면서(Acton *et al.*, 1983) 계육, 돈육, 우육 또는 소의 심장과 같은 식육 부산물로부터 추출한 근원섬유단백질의 특성에 대해 활발히 연구가 진행되고 있다(Antonomanolaki *et al.*, 1999; Newsad *et al.*, 2000; Srinivasan *et al.*, 1996). 그 중 국내에서 선호도가 낮으며, 활용도가 적은 노계 가슴살은 white fiber 함량이 많고, 결체 조직이 적으며, 단백질 수율이 높아 단백질 자원의 효율적인 이용이 가능할 것으로 사료된다. 그러나 white fiber를 구성하고 있는 단백질은 대부분 염용성 단백질로서 온도에 따라 기능성과 조직감이 변하며(Smyth *et al.*, 1997), 단백질 추출 시 고농도의 염을 필요로 하기 때문에 이들 단백질을 추출하는 데는 제한적일 수 밖에 없다(Jin *et al.*, 2006).

최근 chemical synthesis, preparation pharmaceuticals 및 식품가공에 high-intensity의 초음파기술이 사용되고 있으며(Monson *et al.*, 1996), 생체 고분자에 대한 high-intensity의 초음파 응용 연구가 늘어나고 있는 추세이다(Kardos *et al.*, 2001). 예를 들어 전분의 분자구조를 빠르게 분할시키는 효과, 단백질의 구조 기능적 특성에 대한 초음파의 효과(McClements, 1995)와 함께 저분자화 기술에 대한 연구들이 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1999; Shin *et al.*, 2003).

*Corresponding author : Nam Hyouck Lee, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-ku, Songnam, Kyonggi 466-746, Korea. Tel: 82-31-780-9095, Fax: 82-31-780-9185, E-mail: inh@kfri.re.kr

그 밖에 천연물로부터 다양한 생리활성물질을 추출하는데 있어서(Lee *et al.*, 2006; Cho *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2005) 초음파가 이용되고 있는데 초음파가 공동현상(cavitation)에 의해 반응물 입자들의 운동에너지를 크게 하기 때문에 반응에 필요한 충분한 에너지를 얻게 되고, 초음파 에너지의 충격효과로 높은 압력을 유도하여 혼합효과를 높여주게 되어 추출량이 증가하기 때문이다(Chung *et al.*, 2000).

한편 육제품에 초음파가 사용된 경우는 햄의 결합력 향상을 위하여 염지공정에 사용된 경우(Reynolds *et al.*, 1978) 등 극히 일부분에만 사용된 바는 있으나 근육으로부터 순수 단백질만을 분리하는 연구는 아직 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 노계 가슴육의 단백질 자원을 이용하기 위한 기초연구로서 노계 근원섬유로부터 화학물질을 거의 사용하지 않고 초음파를 이용한 물리적 방법으로서 근원섬유 단백질의 수용화 특성에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

근원섬유단백질의 추출

본 실험에 사용한 닭 가슴살은 (주)정우식품에서 공급받아 껍질과 지방을 제거하고 세절하여 사용하였다. 세절된 닭 가슴살은 0.1 M NaCl, 20 mM Tris-HCl buffer(pH 7.0)를 첨가하여 분쇄한 후 거르로 여과한 후 10,000×g로 10분간 원심분리 하여 침전물을 얻었다. 침전물에 위의 buffer로 2회 반복하여 수세하고, 이렇게 얻어진 침전물을 근원섬유 단백질로 하였다. 또한 추출되어진 근원섬유 단백질에 각각 0.2 M NaCl, 20 mM Tris-HCl buffer(pH 7.0), 0.1 M NaCl, 20 mM Tris-HCl buffer(pH 8.0)의 농도가 되도록 염농도 및 pH를 조정하였다. 추출된 근원섬유 단백질은 5 mg/mL 농도로 맞추어 4에서 실험에 사용하였다.

초음파 처리

일정한 농도로 맞추어진 근원섬유 단백질을 초음파기(VCX 750, 20 KHz, Sonic & Material Inc., USA)를 이용하여 Table 1의 조건에서 처리하였다.

용해도

초음파 처리된 근원섬유 단백질을 20,000×g로 20분간 원심분리한 후 상층액 중의 단백질 함량을 Biuret법으로

측정하였다. 용해도는 전체 단백질 함량에 대한 상층액 중의 단백질 함량을 백분율(%)로 나타내었다.

SDS-PAGE 분석

상층액 200 μ L를 8 M urea, 2% mercaptoethanol, 2% SDS, 20 mM Tris-HCl (pH 8.0)의 용액 0.8 mL에 첨가한 후 100°C에서 2분간 가열하였다. Laemmli법에 따라서 10% polyacrylamide gel을 이용한 SDS-PAGE를 행하였으며, commassie brilliant blue R250으로 염색하였다. 탈색은 50% MeOH, 7% acetic acid를 이용하여 30분간, 9.2% acetic acid로 젤의 배경이 투명해질 때까지 수행하였다.

점도

초음파 처리 후 분리한 상층액의 점도를 측정하였다. 점도는 Ostwald 점도계(Cannon instrument Co., size: 0.1 mm²/s²)를 사용하였으며, 다음 식에 의해서 산출하였다.

$$Zn = \ln nr$$

$$nr = n/n_0$$

n : 단백질의 유출시간

n₀ : 용매의 유출시간

Ca- 및 Mg-ATPase 활성 측정

초음파 처리 후 분리한 상층액의 단백질 농도를 1 mg/mL로 맞추어 후 Ca- 및 Mg-ATPase activity 측정을 하였다. 실험 방법은 각각 5 mM CaCl₂, 0.1 M KCl, 25 mM Tris-maleate buffer(pH 7.0), 5 mM NaN₃, 1 mM ATP의 혼합용액, 5 mM MgCl₂, 0.1 M KCl, 25 mM Tris-maleate buffer(pH 7.0), 5 mM NaN₃, 1 mM ATP의 혼합용액에 시료 1 mL를 첨가하여 25°C에서 10 min간 반응하였다. 반응 후 15% perchloric acid를 첨가하여 정지시킨 후, 정지된 반응액에 발색시약을 첨가하여 20분간 발색시켜 640 nm 에서 Ca- 및 Mg-ATPase activity를 측정하였다.

결과 및 고찰

초음파 처리에 의한 근원섬유단백질의 수용화

노계 가슴육은 근원섬유로 이루어져 있으며 이것을 구성하는 근원섬유 단백질은 대부분 0.6 M 이상의 KCl 또는 NaCl의 고염농도 용액에서 추출되는 염가용성 단백질로 이루어져 있다. 염가용성 단백질은 육을 원료로 하는 햄이나 소시지 제조 시 젤을 형성하는데 필수적인 가장 중요한 역할을 담당하고 있으며, 우리들은 주로 이러한 단백질을 섭취하고 있다. 그러나 최근에는 건강식품을 선호하는 시대로 변화하고 있으며 가능한 고염 농도의 가공식품에서 탈피하려는 노력을 기울이고 있다. 본 연구에서는 염가용성 단백질인 근원섬유 단백질을 물리적 기법인 초

Table 1. Conditions of sonication processor

Items	Conditions
Sonation processor	20 kHz
Amplitude	75%, 30%
Pulse on / off	15 / 3 sec, 3/10sec
Time	40 min
Temp.	4°C

음과 처리를 하여 수용화시킴으로써 건강 기능성 식품소재로서의 이용 가능성에 대하여 검토하였다. Fig. 1에는 근원섬유에 0-0.8 M NaCl, 20 mM Tris-HCl(pH 7.0)이 되도록 조절한 후 20 kHz에서 40분간 초음파 처리하여 측정된 용해도를 나타내었다. 초음파 처리를 하지 않은 대조구의 경우 NaCl 농도가 높아질수록 용해도는 증가하였으며 0.8 M에서 최대 53%의 용해도를 나타내었다. 이러한 것들을 20 kHz에서 초음파 처리를 하면 0 또는 0.2 M의 NaCl에서는 초음파 처리시간과 함께 서서히 용해도가 증가하였으며 0 M 보다는 0.2 M의 증가 속도가 빠른 것으로 나타났다. NaCl 농도 0.4 M 이상에서는 초음파 처리 초기에 급격히 증가한 후 큰 변화는 인정되지 않았다. 이상의 결과로부터 초음파 처리는 염용성 단백질의 용해도 증가를 촉진시키는 것으로 사료되었다.

다음은 초음파에 의한 근원섬유의 가용화율의 pH 의존성을 알아보기 위하여 생리적인 염농도에 가까운 0.2 M NaCl의 공존하에서 검토한 후 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 초음파 처리를 하지 않은 대조구의 경우 pH와 관계없이 약 15% 정도의 용해도를 나타내었으며 pH에 의한 용해도의 차이는 거의 인정되지 않았다. 그러나 초음파 처리를 하면 pH 의존성이 인정되었다. 즉, pH 6.0 및 7.0에서의 용해도는 초음파 처리시간에 따라서 서서히 증가하는 경향을 나타내었으나 최대 약 50%의 용해도에 불과한 두 pH 간에 큰 차이는 인정되지 않았다. 한편, pH 8.0의 조건하에서 초음파 처리를 하면 처리 10분 후에 약 60%의 용해도를 나타내는 초기에 급격한 증가 추세를 보였으며, 그 후 서서히 증가하여 최대 90% 이상의 용해도를 나타내었다. 이상의 결과로부터 초음파 처리에 의한 용해도의 pH 의존성은 약산성 또는 중성보다도 약 알칼리 영역

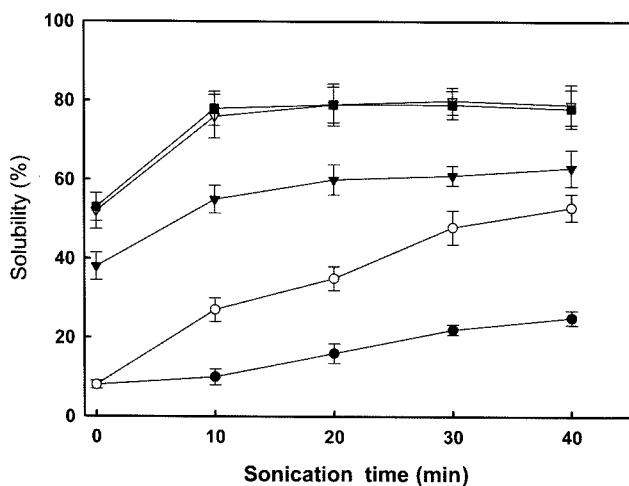


Fig. 1. Effect of salt concentrations on solubility of myofibril prepared from breast muscle of spent hen during sonication. *Symbols were the 0 M (●), 0.2 M (○), 0.4 M (▼), 0.6 M (▽) and 0.8 M (■) NaCl (pH 7.0). **Samples were sonicated at 30% amplitude under 20 kHz.

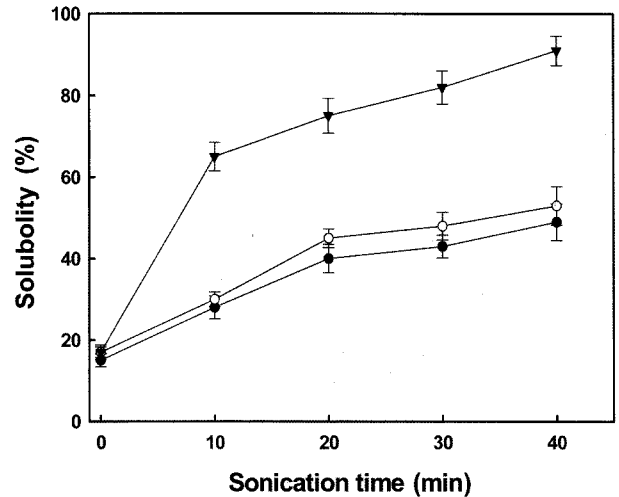


Fig. 2. Effect of pH on solubility of myofibril prepared from breast muscle of spent hen during sonication. *Symbols were the pH 6.0 (●), 7.0 (○) and 8.0 (▼). **Samples were sonicated at 30% amplitude under 20 kHz.

의 pH에서 효과가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 약산성 및 중성부근의 pH 영역에서는 초음파에 의해서 근원섬유의 조직이 붕괴되어 섬유를 구성하고 있는 단백질이 밖으로 해리되기 쉬운 구조적인 변화 때문인 것으로 사료되었다. 또한 다른 pH 영역보다 pH 8.0의 약 알칼리 영역에서의 용해도의 급격한 증가는 알칼리에 의해서 느슨해진 조직이 초음파에 의해서 구조적인 변화(붕괴)가 보다 쉽게 일어났기 때문인 것으로 사료되었다. 지금까지의 결과는 20 kHz, amplitude 30%에서 검토한 결과이며, 이보다 작은 60 Hz에서도 검토한 결과(data 생략) 거의 용해도의 증가에는 영향을 미치지 못하였다. 이상의 결과로부터 초음파 처리는 생리적인 염 농도에 가까운 0.2 M NaCl에서도 염용성인 근원섬유 단백질의 가용화가 잘 일어남을 알 수 있었다.

다음은 초음파가 근원섬유 단백질의 용해도에 미치는 영향력을 좀더 상세히 검토하기 위하여 0.1 M NaCl, pH 8.0 및 0.2 M NaCl, pH 7.0의 공존하에서 20 kHz에서의 amplitude를 75%로 변형하여 검토한 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 또한 여기에서의 초음파 운전 조건은 pulse on/off를 3초, 10초 또는 15초, 3초로 하여 각각 비교하였다. 우선 0.1 M NaCl pH 8.0의 결과에 있어서는 pulse on/off의 조건에 따라서 용해도에 큰 차이를 보여 주었다. 즉 pulse on/off가 15초, 3초로 설정하여 처리한 것이 3초, 10초의 조건에서 처리한 것보다 월등히 높은 용해도를 나타내었으며, 같은 크기의 초음파라 하더라도 운행 방법에 따라서 용해도에 크게 영향을 미치는 것으로 사료되었다. 또한 0.2 M NaCl, pH 7.0(pulse on/off 15초, 3초)과 0.1 M NaCl pH 8.0(pulse on/off 15초, 3초)를 비교한 결과 양자간에 큰 차이가 나타나지 않았으며, 초음파에 의한 용해

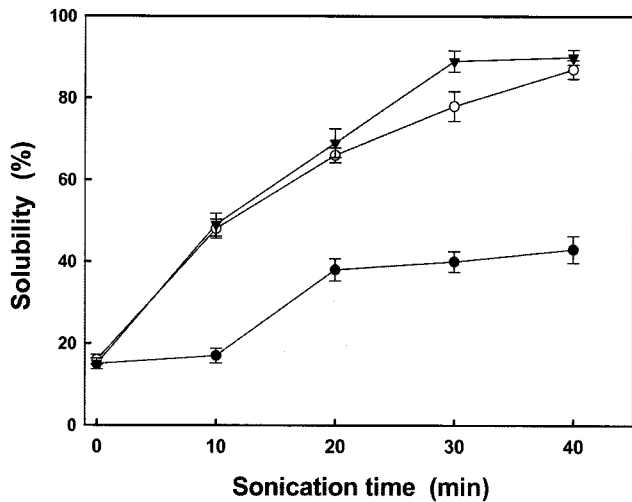


Fig. 3. Effect of sonication conditions on solubility of myofibril prepared from breast muscle of spent hen. *Myofibril were suspended in 0.1 M or 0.2 M NaCl containing 20 mM Tris-HCl (pH 7.0 or 8.0) and then sonicated at 30% or 75% amplitude under 20 kHz. ** (●): 0.1 M NaCl (pH 8.0), 30% amplitude; (▼): 0.1 M NaCl (pH 8.0), 75% amplitude; (○): 0.2 M NaCl (pH 7.0), 75% amplitude.

도의 변화는 pH 및 초음파 처리조건에 더욱 민감한 것으로 사료되었다. 이상의 결과는 Chung 등(2000)에 의한 초음파 에너지의 충격효과로 발생된 높은 압력이 단백질의 구조적 변화를 일으켜 혼합효과를 높이고 이로 인하여 추출량이 증가한다는 결과와 기본적으로는 같은 경향을 나타내었다.

초음파에 의해서 분리한 가용화 성분의 SDS-PAGE

대부분이 염용성 단백질인 근원섬유 단백질을 생리적 염농도(0.1 M NaCl, pH 8.0)하에서도 초음파처리에 의해서 단백질이 분리되는 것을 확인하였다(Fig. 3). 따라서 Fig. 4에는 초음파 처리 시 분리되는 성분을 조사하기 위하여 10% polyacrylamide gel을 이용한 SDS-전기영동을 실시하였다. 여기에서는 대표적으로 초음파 처리 효과가 우수하였던 0.1 M NaCl, pH 8.0의 결과를 제시하였다.

B lane은 가슴육 근원섬유를 그대로 나타낸 것으로서 분자량 205 KDa에 해당하는 myosin heavy chain(MHC)과 분자량 45 KDa에 해당하는 actin(A)의 주요 성분이 관찰되는 전형적인 근원섬유 단백질의 조성을 나타내고 있다. C에 제시한 초음파를 처리하지 않은 근원섬유 단백질로부터 분리된 성분의 조성을 살펴보면 약간의 마소량 성분이 관찰되었을 뿐 주요 단백질은 관찰되지 않았다. 그러나, 초음파처리를 10-40분간 처리하면 약 30분까지는 처리시간의 경과와 함께 MHC 및 A에 해당하는 성분이 증가하는 것으로 관찰되었다. 또한 처리 40분 후에는 MHC의 성분이 약간 감소하였으며, MHC보다 저분자 성분이 약간 증가하는 것으로 관찰되었다. 이상의 결과로부터 초

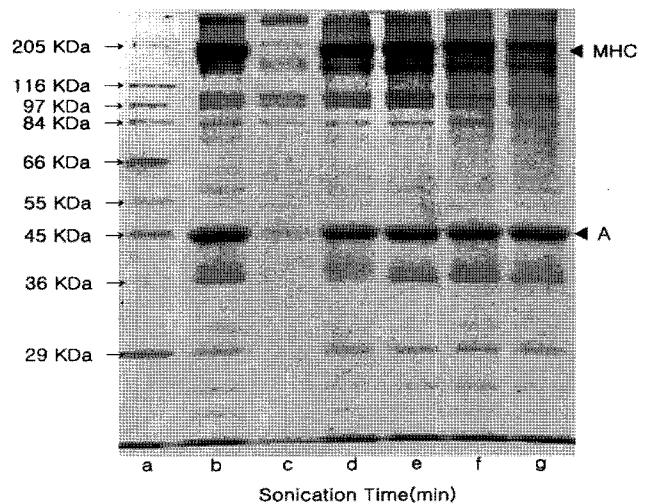
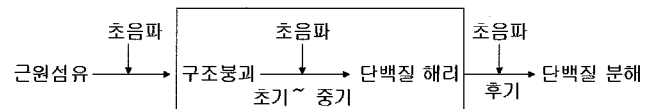


Fig. 4. SDS-PAGE patterns of soluble proteins isolated from myofibril of breast muscle of spent hen during sonication. *Myofibril were suspended in 0.1 M NaCl containing 20 mM Tris-HCl (pH 8.0) and then sonicated at 75% amplitude under 20 kHz. **MHC: myosin heavy chain, A: actin. ***a: molecular marker, b: myofibril, c: sonicated for 0 min, d: sonicated for 10 min, e: sonicated for 20 min, f: sonicated for 30 min, g: sonicated for 40 min.

음파 처리를 함에 따라서 분리되는 단백질은 적어도 처리 초기에는 단백질의 분해에 의하여 새로이 형성된 수용화 성분이 아닌 것으로 판단되었으며, 이 성분은 초음파에 의한 근원섬유의 구조 붕괴에 의한 것으로 판단되었다. 즉, 이상의 결과를 정리하면 아래와 같은 추론을 내릴 수 있다.



초음파에 의해서 분리된 가용화 성분의 점도

초음파에 의해서 분리된 성분의 특성을 알아보기 위해서 Fig. 4와 같은 조건하에서 분리된 성분의 점도를 측정하여 Fig. 6에 제시하였다. 근원섬유 단백질에 0.1 M NaCl, 20 mM Tris-HCl(pH 8.0)이 되도록 조절한 후 20 kHz에서 처리하여 얻어진 가용화 성분의 점도는 가용화가 일어나기 시작하여 30분까지는 처리시간이 길어질수록 점도가 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 30분 이후에는 오히려 점도가 저하하는 현상이 일어났다. 이와 같은 현상은 초음파 처리 30분까지는 근원섬유의 주요 구성 단백질인 MHC 및 A가 점차적으로 초음파에 의해서 분리가 촉진되었기 때문인 것으로 사료되었으며, 초음파 처리 30분 이후의 점도의 저하는 분리된 주요 단백질 특히 MHC의 초음파에 의하여 분해가 일어났기 때문인 것으로 사료되었다. 이상은 Fig. 4의 결과 및 Fig. 5의 추론과 같은 결과로 사료된다.

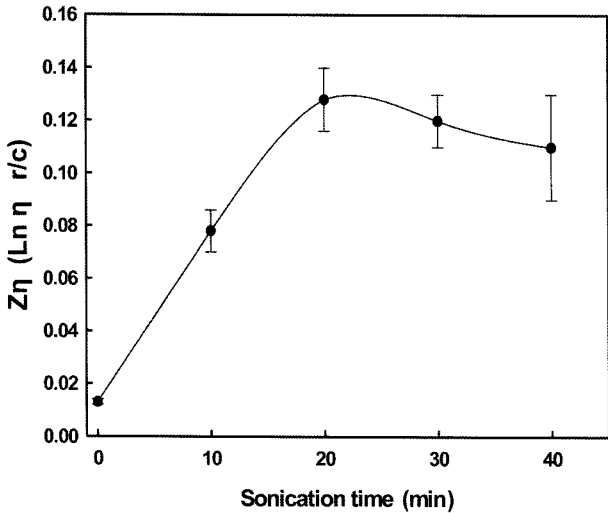


Fig. 5. Changes in viscosity of soluble proteins prepared from myofibril of breast muscle of spent hen during sonication. *Myofibril were suspended in 0.1 M NaCl containing 20 mM Tris-HCl (pH 8.0) and then sonicated at 75% amplitude under 20 kHz.

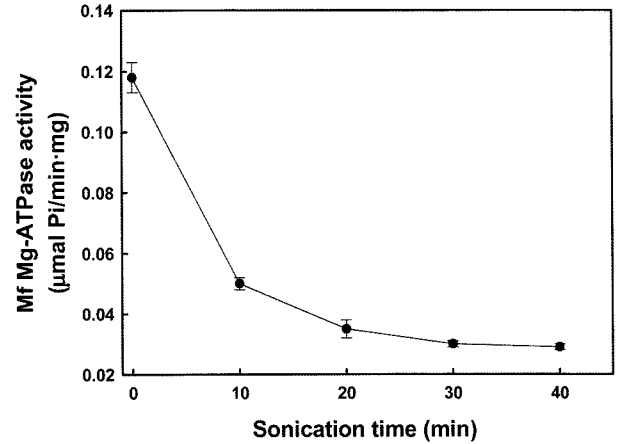


Fig. 7. Changes in Mg-ATPase activity of myofibril prepared from breast muscle of spent hen during sonication. *Conditions were the same as in Fig. 5.

초음파 처리에 의한 근원섬유의 ATPase 활성

지금까지 검토한 결과에 의하면 근원섬유를 초음파 처리하면 근원섬유의 구조가 붕괴되어 구성 단백질의 해리가 일어나 유출되는 것으로 나타났다. 이와 같이 초음파에 의해서 근원섬유의 구조가 붕괴될 때 구성 단백질의 기능적 변화는 어떻게 일어나는지를 살펴보기 위하여 초음파 처리 후 근원섬유 단백질의 Ca-, 및 Mg-ATPase 활성에 대하여 검토하였다.

Fig. 4와 같은 조건하에서 초음파 처리한 근원섬유 단백질의 Ca-ATPase 활성을 측정하여 Fig. 6에 나타내었다. 이 결과에 의하면 초음파 처리 시간과 함께 급격히 Ca-ATPase 활성이 저하되었다. 또한, Mg-ATPase 활성을 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었는데 Mg-ATPase 활성에서도 초음파

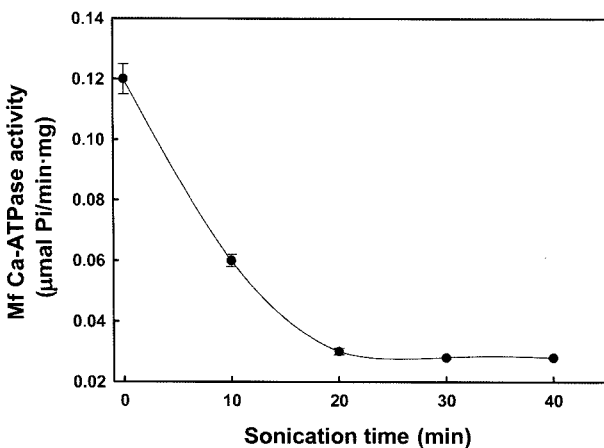


Fig. 6. Changes in Ca-ATPase activity of myofibril prepared from breast muscle of spent hen during sonication. *Conditions were the same as in Fig. 5.

에 의해서 급격한 활성의 저하를 나타내었다. 이상의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 초음파 처리에 의해서 근원섬유는 구조의 붕괴뿐만이 아니라 동시에 주요 구성 단백질이 지니고 있는 기능적(ATPase 활성) 특성에도 변화(변성)를 일으키는데, 이것이 Ca 뿐만이 아니라 주요구성 단백질인 M과 A의 상호작용과 관련 있는 Mg-ATPase 활성도 저하시키는 것으로 사료되었다. 즉 이것은 M의 두 부에 존재하는 ATPase의 초음파에 의한 완전한 실활을 의미하며 단백질의 변성이 초음파에 의해서 빠른 속도로 일어나고 있음을 시사하였다.

이상의 결과를 종합하면 근원섬유를 적당량의 주파수(20 kHz)로 초음파 처리하면 근육의 생리적인 염농도(0.1 M NaCl) 조건하에서도 단백질이 분리되는데 초음파에 의한 근원섬유 구조의 붕괴가 주요 원인인 것으로 생각되었다. 그러나 이때에 단백질의 변성도 동시에 일어났으며, 단백질의 변성과 용해도와는 지금까지 밀접한 비례관계에 있는 것으로 알려져 있는 것과 비교해 볼 때 본 연구에서의 결과는 약간 다른 경로의 메카니즘에 의한 것도 생각할 수 있다. 이에 대한 메카니즘적인 연구는 초음파 처리에 의한 근원섬유의 구조붕괴 속도와 Ca- 및 Mg-ATPase 활성을 통한 근원섬유 단백질의 변성속도 등의 비교를 통하여 밝혀질 수 있을 것으로 사료되며, 현재 초음파에 의한 단백질 분리 시 변성을 억제할 수 있는 방안을 포함하여 이에 대한 연구가 진행 중에 있다.

요 약

본 연구에서는 노계 가슴육의 단백질 식품 소재로서 활용도를 높이기 위하여 초음파를 이용한 근원섬유 단백질의 수용화에 대하여 검토하였다. 근원섬유에 0.1-0.8 M NaCl, pH 6.0-8.0이 되도록 조절한 후 20 kHz에서 초음파

처리를 하였다. 그런 다음 이들의 용해도, SDS-PAGE, 점도, Ca- 및 Mg-ATPase 활성을 측정하였다. 각각의 처리 조건에서 용해도를 검토한 결과 초음파에 의해서 용해도는 증가하였으며 0.1 M NaCl, pH 8.0에서 약 90%를 나타내었다. 용해된 성분을 SDS-PAGE를 이용하여 검토한 결과 대부분 myosin heavy chain 및 actin에 상당하는 성분이 검출되었으며, 초음파에 의한 단백질의 분리는 근원 섬유 구조의 붕괴에 의한 것으로 사료되었다. 한편, 초음파에 의한 점도의 변화는 용해도가 높을수록 점도도 증가하였다. 그러나, Ca- 및 Mg-ATPase 활성은 초음파에 의해서 급격히 저하하였으며, 초음파에 의해서 분리되는 단백질은 대부분 변성이 진행된 상태인 것으로 사료되었다.

참고문헌

- Acton, J. C., Ziegler, G. R., Carpenter, Z. I., and Dill, C. W. (1983) Functionality of muscle constituents in the processing of comminuted meat products. *Food Sci. Nutr.* **18**, 99-121.
- Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts K., and Watson, J. D. (1983) Cytoskeleton. In : *Molecular Biology of the Cell*, Garland Publishing, Inc, New York & London, pp 549.
- Antonomanolaki, R. E., Varelziz, K. P., Georgakis, S. A., and Kaldrymidou, E. (1999) Thermal gelatin properties of surimi-like material made from sheep meat. *Meat Sci.* **52**, 429-435.
- Cho, D. H. and Yu, Y. H. (2000) Effect of ultrasonic treatment on the isolation of the Chlamyospore of *Cylindrocarpum destructans* causing root rot of *Panax ginseng*. *J. Ginseng Res.* **24**, 53-57.
- Chung, K., Kim, W. I., Hong, I. K., and Park, K. A. (2000) Ultrasonic energy effects on squalene extraction from amaranth seed. *Appl. Chem.* **4**, 149-152.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., and David, M. M. (1949) Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.* **177**, 751-766.
- Hamm, R. (1986) Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In *Muscle as Food*. Bechtel, P. J. (ed.), Academic Press, New York, pp. 135-199.
- Huxely, H. E. (1963) Electron microscope studies on the structure of natural and synthetic protein filaments from striated muscle. *J. Mol. Biol.* **7**, 281-308.
- Kandos, N. and Luche, J. L. (2001) Sonochemistry of carbohydrate compounds. *Carbohydr. Res.* **332**, 115-131.
- Kim, H. S., Kim, C. H., Kwon, M. C., and Song, Y. K. (2006) Anticancer activity of ultrasonified extracts from seawater-based culture of the microalgae *Spirulina platensis*. *J. Korean Fish. Soc.* **39**, 318-325.
- Kim, J. H., Kim, D. H., You, J. H., Kim, C. H., Kwon, M. C., and Seong, N. S. (2005) Immuno-regulatory activities of various fractions from *Ehpedrae Sinica* STAPE, *Rubus Coreanus* Miq. and *Angelica gigas* Nakai extracts with ultrasonication. *J. Med. Crop Sci.* **13**, 161-170.
- Kim, S. M., Park, S. M., Choi, H. M., and Lee, K. T. (1999) Optimal Processing parameters of low molecular weight carrageenan by ultrasound. *J. Korean Fish. Soc.* **32**, 495-500.
- Laemmli, U.K. (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* **227**, 680-685.
- Lawrie, R. A. (1985) *Developments Meat Science-3*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., London, pp. 25.
- Lee, B. S., Ko, M. S., Kim, H. J., Kwak, I. S., Kim, D. H., and Chung, B. W. (2006) Separation of 6-gingerol from ginger and antioxidative activity. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **21**, 484-488.
- McClements, D. (1995) Advantages in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Sci. Technol.* **6**, 293-299.
- Moson, T. and Cordmas, E. (1996) Ultrasound intensification of chemical processing and related operations - a review. *Trans Instit. Chem, Engineers* **74(A)**, 511-516.
- Nowsad, A. A. K. N., Kanoh, S., and Niwa, E. (2000) Thermal gelation characteristics of breast and thigh muscles of spent and broiler and their surimi. *Meat Sci.* **54**, 169-175.
- Richardson, R. I. and Jones, J. M. (1987) The effects of salt concentration and pH upon water-binding, Water-holding and protein extractability of turkey meat. *Int. J. Food Sci. Tech.* **22**, 683-692.
- Shin, H. J. and Lee, D. C. (2003) Study on the process to decrease the molecular weight of β -1.6-branched β -1.3-D-glucans. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **18**, 352-355.
- Smyth, A. B. and ONiel, E. (1997) Heat-induced gelation properties of surimi from mechanically separated chicken. *J. Food Sci.* **62**, 326-330.
- Srinivasan, S., Xiong, Y. L., and Decker, E. A. (1996) Inhibition of protein and oxidation in beef heat surimi-like material by antioxidants and combinations of pH, NaCl, and buffer type in the washing media. *J. Agric. Food Chem.* **44**, 119-125.
- Xiong, Y. L., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Blanchard, S. P., and Straw, M. L. (1993) Variations in muscle chemical composition, pH and protein extractability among eight different broiler crosses. *Poultry Sci.* **72**, 583-588.
- Yang, R., Shin, W. C., Oh, D. W., Jhin, H. S., and Kim, K. T. (1986) Comparison of biochemical characteristics of myofibrillar proteins from red muscle and white muscle. *J. Kor. Food Sci. Technol.* **3**, 173-180.

(2007. 11. 1. 접수/2007. 12. 17. 채택)