

筋肉內 生化學的 代謝가 肉質에 미치는 영향

이 유 방

한국과학기술연구소 축산가공연구소
(1979년 4월 1일 수리)

The Effect of Postmortem Metabolism on Meat Quality

Yu-Bang Lee

Animal Product Technology Laboratory, Korca Institute of Science & Technology, Seoul
(Received April 1, 1979)

국민의 소득이 증대됨에 따라 육류의 소비가 증가하고 있으며 소비자는 보다 선택적으로 높은 품질의 고기를 점차 요구하고 있다. 고기의 품질 즉 肉質을 정의 하자면 영양가치, 위생적 건전성, 기호성, 가공에의 적합성, 외관 등을 들 수 있는데 이는 넓은 의미의 정의이고 통상 육질이라고 하면 기호성(palatability)과 외관(appearance), 즉 색, 풍미, 연도(tenderness), 다즙성, 조직을 말하고 있다. 이러한 육질은 육축의 유전적, 환경적요인에 따라 영향을 받게 되며 특히 육축 도살 전후의 취급관리 조건에 따른 근육내에서 일어나는 생화학적 변화의 양상에 따라 크게 좌우되고 있다. 양축가에 의해 이미 길러진 육축을 적절히 취급, 도살하고 생산된 도체를 가장 적절히 보존, 취급, 처리 및 요리함으로써 소비자에게 품질높은 고기를 제공함은 식육업에 중사하는 사람의 임무이며 이를 위해서는 근육내에서 일어나는 대사작용과 육질과의 관계를 잘 이해해야 할 것이다.

1. 근육의 조직과 수축작용

본론에 들어가기 전에 근육의 조직해부학적인 면과 수축운동에 대해 간단히 살펴보고자 한다.

근육은 통상 두개의 뼈사이에 인대에 의해 연결되어 있고 근육조직 이외에도 신경, 혈관, 지방, 결합조직 등의 복합으로 이루어져 있다. 근육조직을 미시적으로 해부해 보면 Muscle tissue→muscle bundle→muscle fiber→myofibril→myofilament로 되어 있으며 myofilament는 myosin, actin, tropomyosin, troponin, α -act-

inin, β -actinin, c-protein, M-substance 등의 8개 단백질로 구성되어 있다.

Myofilament를 전자현미경으로 확대한 것을 도식적으로 나타내면 그림 1과 같다. 즉 Z-line과 Z-line사이를 1개의 sarcomere라고 부르고 근육수축의 기본단위가 된다. 중앙에 있는 filament는 myosin으로서 thick filament라 부르고 Z-line의 양측에 있는 filament는 actin으로서 thin filament라 하며 이들 두 filament가 서로 sliding mechanism에 의해 근육의 수축이완운동이 일어나게 된다. 즉 휴식상태에 있는 근육은 (그림 1의 상단) 이완되어 있는 상태인데 두 filament사이 약간의 중복이 있으며 sarcomere의 길이가 약 3.4 μ m 인데 비해 외부의 자극을 받으면 두 근섬유가 sliding 하여 수축된 상태에 들어가는데(그림 1의 하단) 이때의 sarcomere길이는 약 2.1 μ m 로 줄어들게 된다. 수축상태에 들어간 근육은 다시 이완된 상태로 돌아가는데 이와 같은 수축이완의 기계적 운동을 하는데는 에너지가 필요하며 그 chemical energy원이 바로 ATP인 것이다. 살아있는 근육은 근육수축이완운동에 필요한 ATP의 합성을 위해 호기성대사와 혐기성대사를 다 활용하고 있어서 근육내의 glycogen은 glycolysis를 거쳐 glucose 1분자당 3개의 ATP가 생성되고 TCA cycle과 oxidative phosphorylation을 거쳐 34개의 ATP가 생성되게 된다. 근육은 glycogen 외에도 지방과 단백질을 이용하여 ATP를 생성할 수 있다. 그런데 근육은 이러한 혐기성 및 호기성대사를 보다 효율적으로 하기 위해 red, white, intermediate fiber의 세 종류의 근육세포로 구성되어 있는데 red fiber는 주로 호기성대사를

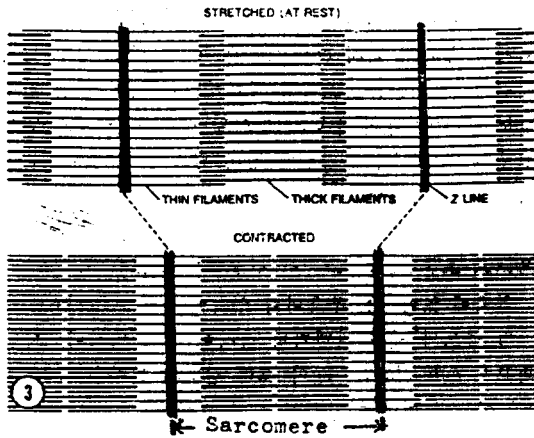


그림 1. 근섬유의 세부구조와 수축 이완상태

white fiber는 주로 혐기성대사를, 그리고 intermediate fiber는 혐기성 및 호기성대사를 겸하고 있다. 이들 세 근세포의 분포와 비율은 가축의 종류에 따라, 또 각 근육의 기능에 따라 달라지고 있다.

2. 死後 근육내에서의 대사작용

가축을 도살하여 방혈하게 되면 산소의 공급이 단절 되므로 ATP를 효율적으로 생산할 수 있는 호기성대사는 불가능해지고 근육은 혐기성 대사에만 의존하게 된다. 즉 근육내에는 3개의 에너지원이 존재하는데 ATP, creatine phosphate, 그리고 glycogen이다. 도살후 가축은 죽었지만 근육은 계속 살아있어 수축이완을 계속하며 ATP가 계속 소모되게 된다.

그림 2에서 보는 바와 같이 사후 최초 1~2시간은 ATP가 높은 수준에 유지되는데 이는 creatine phosphate와 ADP로부터 ATP가 계속 생성되기 때문이다.

그러나 creatine phosphate가 고갈되면 ATP수준은 급격히 떨어지기 시작하는데 소고기의 경우 7°C에서는 약 24시간 후, 37°C에서는 약 6시간 후이면 완전히 고갈되게 된다. 물론 근육은 glycogen을 이용한 glycolysis를 통하여 ATP를 계속 보충하려고 노력하지만 glucose 1분자당 ATP가 3개밖에 생성되지 못하므로 결국 ATP의 저하를 막지 못하며 glycolysis의 최종산물인 젖산이 축적되므로 pH가 계속 떨어지게 된다. 그림 2의 상단은 근섬유의 물리적상태를 도식적으로 나타내고 있는데 ATP가 높은 수준에 있을 때는 thick filament와 thin filament사이의 결합이 가역적이고 근육의 신전성(extensibility)이 높는데 이를 pre-rigor상태라고 한다. creatine phosphate가 고갈되고 ATP가 최초수준의 1/3 이하로 떨어지면 이들 두 filament사이에 불가역적인 cross-bridge가 형성되어 근육의 신전성이 떨어지고

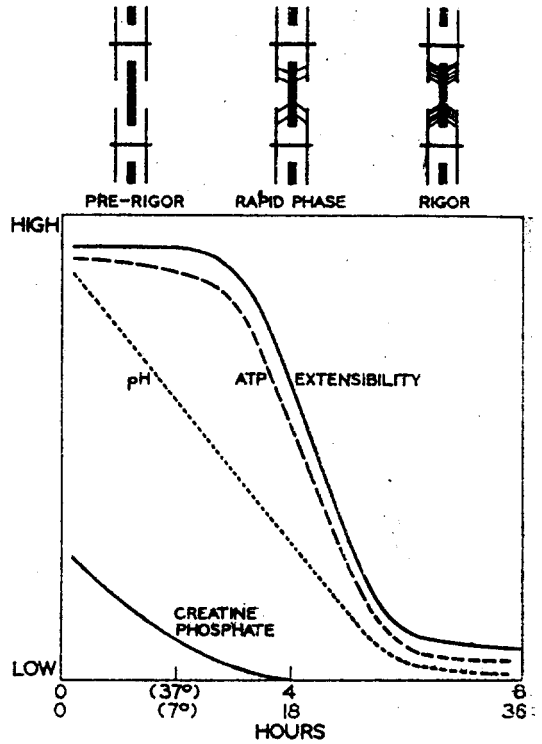


그림 2. 사후 우육 근육내에서의 생화학적 변화와 근섬유간 결합상태

sarcomere의 길이가 짧아지기 시작하는데 이때를 onset of rigor(사후강직의 시작)라 부르게 된다. ATP와 glycogen이 완전히 고갈되면 근육은 더욱 심한 단축(shortening)을 보이고 두 filament 사이에는 많은 cross-bridge가 형성되어 伸展性和 유연성이 없는 근육강직상태에 들어가게 된다. 이러한 생화학적, 물리적 변화의 속도는 가축의 종류, 연령, 영양상태, 도살시의 흥분상태, 그리고 도체의 보존온도에 따라 영향을 받는데 특히 그림 2에서 보는 바와 같이 도체온도가 37°C일 때 7°C에 비해 사후강직에 이르는 시간이 4배로 단축됨을 볼 수 있다.

3. 사후 도체의 보존온도와 軟度

쇠고기와 양고기에 있어 도체의 보존온도는 고기의 軟度(tenderness)에 크게 영향을 주게 된다. 그림 3은 근육의 단축도(%shortening)와 보존온도와의 관계를 보인 것으로서 쇠고기를 16°C에 보존시 단축도가 가장 낮고 그 이상 혹은 그 이하의 온도에서는 단축도가 점차 증가하게 된다. 이 현상은 각각 heat shortening, cold shortening이라고 부르는데 heat shortening이 일어나는 것은 그림 3에서 본 바와 같이 높은 온도에서는 근육내 ATP의 고갈속도가 빠르고 근섬유의 수축이

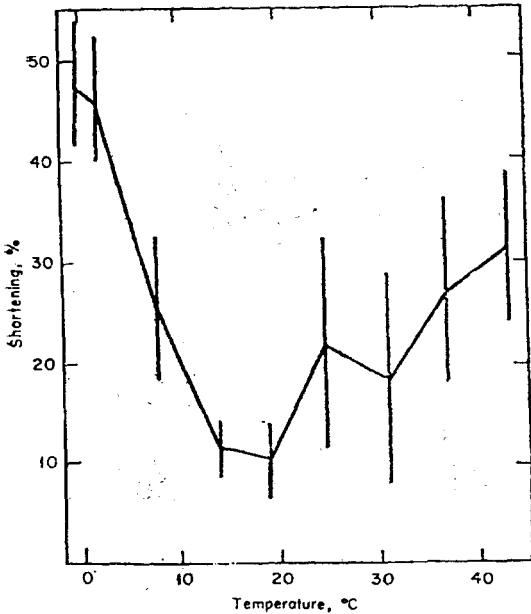


그림 3. 사후 보존온도와 근섬유의 단축도와와의 관계

축진되므로 단축도가 증가하게 된다. 이와는 달리 0°C의 낮은 온도에서 일어나는 cold shortening 현상은 白肉(white muscle)에서는 일어나지 않고 mitochondria의 농도가 높은 赤肉(red muscle) 즉 우육과 양육에서 크게 문제가 되고 있다. 그 기작에 대해 현재까지의 연구결과에 의하면 고기 내부는 산소가 없는 anoxia상태에 있고 온도가 낮게 되면 mitochondria의 이온교환(ion transport)이 제대로 이루어지지 않고 mitochondria로부터 많은 양의 칼슘이온이 외부로 용출되어 나오므로 인해 근육내 칼슘의 농도가 높아지고 이로 인해 근육수축이 심하게 일어난다고 알려져 있다. 이와 아울러 낮은 온도에서는 칼슘을 결합, 방출하는 역할을 하는 sarcoplasmic reticulum의 칼슘결합력이 떨어져 과잉되는 칼슘을 처리하지 못하므로 cold shortening이 더욱 촉진되게 된다. 이러한 현상은 도살후 도체를 온도가 낮은 냉장실에서 급속히 냉각시킬 때 일어나는데 피하지방이 적은 도체에서 더욱 심한 것을 볼 수 있다.

이와같이 근육의 단축도가 높게 되면 근섬유 간에 극심한 중복(overlapping)을 가져오고 剪斷(shearing)하는데 많은 힘이 필요하게 되어 고기의 軟度가 크게 저하하게 된다. 단축이 심한 경우는 sarcomere의 길이가 약 반으로 줄어들고 (50% shortening) 軟度가 2~3배로 떨어져 질긴 가축처럼 씹을 수 없을 정도로 되기도 한다.

결론적으로, 우육과 양육에서는 cold shortening이 문제가 되는데 외국에서는 이를 방지하기 위해 도체를 15~18°C 온도에서 24시간 방치하였다가 고기가 사후강직에 들어간 후 냉각시키는 지연냉각 방법을 사용하

고 있다. 또한 외국의 경우 비육된 육축의 도체는 피하지방 두께가 커서 cold shortening이 어느 정도 방지되는데 우리나라의 소처럼 피하지방이 거의 없는 경우 cold shortening이 심하게 일어날 우려가 있으므로 도살후 바로 0°C의 냉장실에 넣지 않도록 할 것이다. 그러나 더운 여름날 상온에 방치하는 경우 heat shortening이 일어날 우려가 있고 미생물의 번식 우려가 있으므로 보존온도의 조절이 필요하다고 보겠다.

돈육에 있어서는 우육이나 양육에 비해 mitochondria의 농도가 낮고 피하지방 축적이 많아 냉각이 지연되므로 cold shortening이 그리 심하지 않아(약 20% 정도) 연도에 미치는 영향이 그리 크지 않으므로 문제가 되지 않고 있다.

4. PSE와 DFD 근육내의 대사작용

PSE는 pale, soft, exudative의 약자로서 고기 색깔이 창백하고 조직이 단단치 못하고 유연하며 고기 표면에 육즙이 삼출되어 나오는 상태의 근육을 말하고 DFD는 dark, firm, dry로서 PSE와는 정반대로 색깔이 검고 조직이 단단하며 고기표면이 건조한 상태의 근육을 이르고 있다. 쇠고기에서는 PSE 근육은 많지 않고 dark cutting beef라 하여 DFD 근육이 문제가 되었는데 미국의 경우 쇠고기 전체의 약 3~5%에 이르고 있다. DFD 근육은 색깔이 검어 신선육으로서의 품질이 떨어지고 늙은 소고기로 오해받기 쉬우나 보수성이 높고 결합력이 높아 가공육으로서는 정상육보다도 우수하다고 할 수 있다.

한편 PSE근육은 돼지고기에서 많이 볼 수 있는 것으로서 유럽과 미국의 경우 돈육 전체의 20%에 이르고 있다. PSE근육은 색깔이 창백하고 보수성이 낮아 조리중 육즙손실이 많아 건조해지기 쉬우며 가공육 제조시 결합력이 낮고 감량이 많이 나는 등의 경제적 손실을 가져오는 결점을 가지고 있다.

이러한 PSE와 DFD근육의 발생기작은 근육내 염기성대사 속도, pH의 하강속도와 직접적 관련을 가지고 있다. 즉 정상적인 근육은 도살 후 점차적인 pH의 하강을 보여 4~8시간 후에야 pH 5.6에 이르고 있는데 반해 PSE 근육은 매우 급격한 pH의 저하를 보여 도살 후 1시간 이내에 pH 5.4에 이르고 24시간 후의 최종 pH도 정상근육보다 낮음을 볼 수 있다. 한편 DFD근육은 도살 후 근육 pH의 하강이 거의 없고 6.6의 높은 pH를 유지하고 있다.(그림 4).

DFD근육의 발생요인은 가축을 장거리 운송하여 와서 몹시 피로해 있거나 도살전 어떤 자극을 받아 흥분

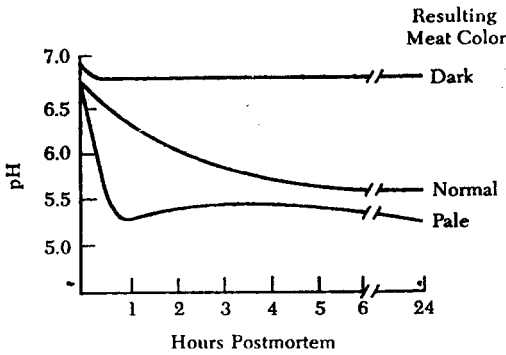


그림 4. 사후 근육내 pH의 변화속도와 육질과의 관계

하게 되면 근육내 glycogen이 완전히 고갈되어 도살후 glycolysis가 거의 없으므로 pH가 떨어지지 않게 된다. 높은 pH에서는 근육단백질의 보수성이 높으므로 표면에 육즙의 삼출이 없이 건조하고 따라서 빛의 반사각적으므로 색깔이 검게 나타나게 된다. 이러한 DFD근육을 방지키 위해서는 가축을 수송후 24시간 정도 휴식시키고 또 불필요한 stress를 피하도록 할 것이다.

PSE근육은 역사적으로 볼때 25여년 전에는 별로 볼 수 없었는데 지난 25년간 지방이 적고 산육량이 높은 고기 타입의 돼지로 개량하다 보니 자연히 근육과 순환혈액량의 균형이 맞지 않게 되었다. 즉 심장크기와 혈액량은 제한되어 있는데 근육량이 계속 늘다 보니 그 균형이 맞지 않아 차차 근육은 적응현상의 하나로서 intermediate fiber, giant fiber등의 근섬유가 늘고 호기성대사에서 점차 혐기성대사로 전환되어 왔다. 따라서 환경온도가 높거나, 취급이 거칠거나, 장거리 운송 등의 stress가 있게 되면 ACTH, epinephrine, corticoid호르몬의 분비가 많아지고 이들 호르몬은 근육내 glycolysis를 촉진하여 체내가 산중독(acidosis)으로 되어 폐사하거나 아니면 도살 후 pH가 급속도로 떨어져 PSE근육을 생산하게 된다. 도살 직후 도체의 온도는 35°C정도로 높는데 pH가 급강하하니 근육단백질의 변성을 가져와 보수력, 결합력이 떨어지게 된다. 이러한 PSE현상을 방지키 위해 유전적으로 stress에 강한 계통이나 품종의 돼지를 번식에 사용하고, 또 가급적 stress요인을 제거하도록 취급 관리에 유의하여야 한다.

5. 解凍強直(thaw rigor)현상과 기작

해동강직현상은 도살후 근육내의 에너지원이 고갈되기 전에, 즉 사후강직 이전에 고기를 냉동시키는 경우 이를 해동하였을 때 심한 근섬유의 수축을 가져오고 가축처럼 질긴 고기를 얻게 된다. 경우에 따라서는 분리된 고기에 있어 60~80%까지의 심한 근섬유 단축을 볼 수 있다. 따라서 고기를 냉동시키고자 할 때에는 도

살후 일정시간 방치하여 두어 근육내의 ATP와 glycogen이 완전히 고갈되고 사후강직이 완료된 이후에야 냉동해야 할 것이다. 이 해동강직의 현상은 고기조직이 얼었다 해동됨으로 인해 근육내의 기관으로부터 칼슘을 비롯한 무기염류의 유출이 많아지고 특히 cold shortening의 경우와 마찬가지로 mitochondria로부터 칼슘이 방출되고 sarcoplasmic reticulum의 칼슘결합력이 저하됨으로 인해 근육내 칼슘농도가 증가되어 근육수축을 촉진하기 때문이라고 보겠다. 특히 급속해동 보다 완만 해동의 경우 해동강직의정도가 심한데 이는 완만해동시 염류의 평형이 느리고 극부적으로 육즙속에 염류와 칼슘의 농도가 매우 높기 때문으로 생각되고 있다.

그런데 근육내 ATP와 glycogen이 자연적으로 고갈되기까지는 상당한 시간이 걸리므로 근래에는 이 시간을 단축시키고 도체의 냉동처리를 능률화하기 위해 전기적 자극법(electrical stimulation)을 사용하고 있다 즉 도살 후 도체를 직류 혹은 교류로 약 1분간 60회에 걸쳐 전기적 자극을 가함으로써 근육내대사를 촉진시켜 1~2시간 후에는 사후강직이 완료되고 바로 냉동할 수 있게 되는 것이다. 이 전기자극법은 또한 고기를 보다 연하게 하는 효과도 있어서 선진국에서는 실험단계를 거쳐 이제는 산업화의 단계에 이르고 있다.

6. 鷄肉의 근육내 代謝와 肉質의 관계

보편적인 가금처리공정을 보면 양계장으로 부터 수송된 닭은 가금처리장에서 쇠클에 거꾸로 매달고 전격기로 절명시킨 후 방혈, 탕지, 탈모, 수세, 내장적출, 냉각, 선별, 숙성, 포장의 과정을 거치게 된다. 처리 공정중에서 보는 바와 같이, 닭을 탕지시 60°C내외의 뜨거운 물에 약 1분간 넣게 되므로 근육의 heat shortening이 일어날 수 있고 또 도체의 냉각시 근육온도가 4°C로 내려가므로 cold shortening이 일어날 수도 있는 여전에 있다. 이러한 점을 고려하여 도살후 근육의 보존온도와 단축도와의 관계를 조사하였던 바 그림 5에서 보는 바와 같은 결과를 얻었다. 즉 가슴고기의 경우 cold shortening은 전혀 없는 반면에 20°C이상의 온도에서의 heat shortening이 심하게 일어나고 있음을 볼 수 있는데 40°C에서는 50% 단축을 나타내고 있다. 다리고기는 0°C에서 약간의 cold shortening을 보이고 있으나 소고기보다 훨씬 그 정도가 낮고 역시 heat shortening이 보다 중요성을 띄고 있음을 알 수 있다. 이처럼 계육에 있어서는 cold shortening보다는 heat shortening이 심한 이유는 우육, 양육등의 赤肉과는 달리 주로 white muscle fiber로 구성되어 혐기성대사에

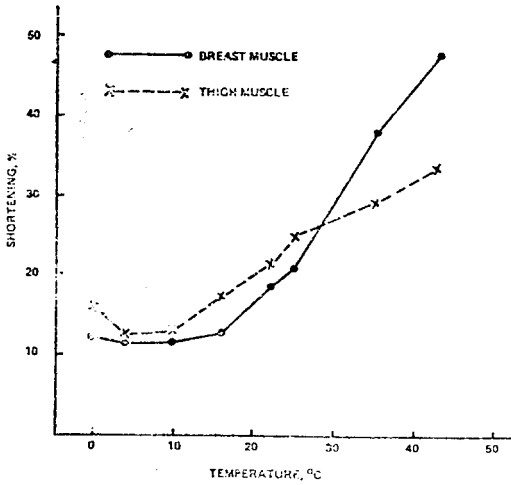


그림 5. 계육에 있어 사후보존온도와 근섬유단축도의 관계

의존하기 때문이라 생각되고 있다. 또 다른 시험결과에 의하면 보존온도가 높을 수록 ATP의 고갈속도가 빠르고 고기가 질기게 됨을 나타내었다. 즉 앞에서 설명한 소고기에서는 cold shortening이 있기 때문에 급히 냉각시키지 말고 16°C의 온도에서 일정시간 고온속성시킨 후 냉각시키는 것이 좋으나 계육에서는 이와 반대로 heat shortening현상이 중요하므로 가급적 빠른 시간내에 4°C의 낮은 온도로 냉각시키도록 함이 연한 고기를 얻는 비결이 되겠다.

필자의 제한된 경험에 의하면 국내에서 처리되는 계육이 매우 질긴 것을 볼 수 있는데 이는 세가지 원인이 작용한다고 보겠다 즉 첫째, 닭집에서 도계시 탕지하는 온도가 70°C이상의 고온인 점, 둘째 도계후 냉장시설이 없으므로 고온에 방치해 두는 점, 셋째 도살 후 일정시간 숙성함이 없이 바로 가정에서 요리하기 때문인 점 등인데 이 모든 여건하에서는 근섬유의 heat shortening이 심하게 일어나고 따라서 고기가 질기게 된다고 보겠다.

7. 鷄肉에 있어 電擊處理가 代謝 및 육질에 미치는 영향

최근에 구미의 가급처리장에서는 전격기(electrical stunner)를 점차 사용하고 있는데 원래의 사용목적은 계육을 연하게 하려는 것이 아니고 다만 도계처리시 닭이 푸드닥거리기 때문에 이를 전기적쇼크로 절명시켜 조용하게 만들어 放血을 용이하고 깨끗하게 하기 위함이었다. 최근 필자등은 전격처리한 계육의 연도가 현저하게 증진됨을 발견하고 그 원인을 구명하게 되었다

표1. 전격처리가 계육의 연도에 미치는 영향

반복	처리	Shear value kg/20g 시료
1	무처리구	127
	전격처리구	87
2	무처리구	148
	전격처리구	104
3	무처리구	91
	전격처리구	58
4	무처리구	127
	전격처리구	71

표1에서 보는 바와 같이 반복구에 따라 차이는 있으나 한결같이 전격처리한 것이 연한 것을 볼 수 있고 전체적으로 약 30% 정도의 연도향상이 있었다. 그 기작을 구명키 위해 근육내 glycolysis속도와 ATP의 파괴속도를 조사하였던 바 그림 6에서 보는 바와 같은 결과를 얻게 되었다. 즉 전격처리를 하지 않은 대조구의 경우 도계처리 초기에 ATP가 급속도로 파괴되고 pH가 하강하여 완전히 도계공정이 끝나기도 전에 이미 사후강직 상태에 들어감을 볼 수 있다. 이에 반해 전격처리한 구는 도계초기에 ATP의 수준이 높게 유지되었다가 점차 감소하기 시작하였고 도계공정이 완전히 끝나고 냉장 상태에 들어갔을 때에야 사후강직이 완료됨을 알 수 있다. 즉 전격처리는 ATP의 파괴와 glycolysis 속도를 지연시키는 효과를 가지고 있는 것이다. 특히 주목할 것은 대조구에서 탕지, 탈모, 내장적출 등 도계초기의 근육온도가 아직 높은 시기에 ATP와 glycogen이 급속도

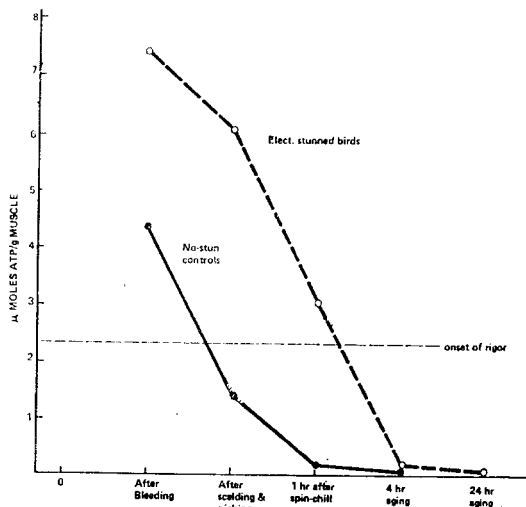


그림 6. 전격처리가 ATP분해속도에 미치는 영향 (계속)

로 파괴되므로 heat shortening 현상이 일어나 고기가 질기게 되는데 반해 전격처리한 구는 이렇게 근육온도가 높은 도제 초기에는 ATP의 수준이 높다가 일단 도제 처리된 계육이 냉각되기 시작하는 때에야 ATP가 고갈되기 시작하므로 heat shortening이 거의 일어나지 않으므로 軟度가 증진된다고 설명되겠다. 그럼 왜 도제 초기에 ATP가 파괴되지 않고 높은 수준에 유지되는지의 생리적 기작에 대해서는 앞으로의 재미있는 연구과제로 남아 있다.

8. 熱性過程(aging, conditioning) 중의 生化學的 變化와 肉質

일반적으로 고기가 사후강직에 들어가기 전에 또 사후강직 상태에 있을 때에 조리하게 되면 매우 질긴 고기를 얻게 되나, 일단 사후강직이 지나 일정시간 보존하였다가 조리하게 되면 연한 고기를 얻게 되는데 이 보존기간 중에 軟化작용이 일어나며 이를 숙성이라 부른다. 숙성기간은 보존온도에 따라 좌우되는데 계육은 16~24시간, 우육과 양육은 2°C에서 7~14일, 37°C에서는 24~30시간, 돈육은 2°C에서 24~48시간 정도이다. 이 숙성기간중 일어나는 생화학적 변화를 3가지로 요약해 보면,

1) 아직 기작은 확실히 구명되지 않았지만 myosin과 actin과의 결합이 점차 약화되고 sarcomere의 길이가 어느 정도 다시 길어진다는 점.

2) 최근 미국 Iowa State University의 Muscle Biology group에 의하면 근육내에 Ca²⁺ activated factor (CAF)라는 효소가 있어 선별적으로 Z-line을 분해시키므로서 근섬유가 토막토막 분단된다는 점.

3) 근육내에 존재하는 각종 다른 단백질분해효소(lysosome속의 cathepsin, β -glucuronidase 등)에 의해 결체조직 및 근육조직이 자가소화되어 연화되는 점등을 들

수 있겠다.

이러한 숙성과정을 지나 지나친 미생물의 번식으로 pH가 상승하고 근육조직이 분해, 파괴되는 단계에 다르다면 이는 부패로서 섭취에 부적당하게 된다.

9. 結 論

근육내의 생화학적 대사의 형태와 속도는 근육의 물리적 상태를 영향하고 물리적 상태는 軟度를 비롯한 고기의 기호성과 품질을 좌우하게 된다. 따라서 도살 전후의 근육내에서 일어나는 생화학적 대사작용과 변화를 정확히 이해하고 이를 물리화학적 방법을 써서 인위적으로 수정 변경하므로써 보다 육질이 높은 고기를 소비자에게 공급토록 하는 것이 식육가공업자의 책임이며 앞으로 우리나라에서도 이 부문의 연구가 많이 이루어지기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 1) Murray, J. M. and Weber, A.: *Scientific American*, **230**, 58 (1974).
- 2) Goll, D. E. et al.: *Proc. Meat Industry Res. Conf.* p. 75. Amer. Meat Inst. Found. (1974).
- 3) Marsh, B. B.: *Proc. Meat Industry Res. Conf.* p. 13, Amer. Meat Inst. Found. (1977).
- 4) Forest, J. C. et al.: *Principles of Meat Science*, Freeman & Co., San Francisco (1975).
- 5) Locker, R. H. and Hagyard, C. J.: *J. Sci. Food Agr.*, **14**, 787 (1963).
- 6) Lee, Y. B. and Rickansrud, D. A.: *J. Food Sci.*, **43**, 1613 (1978).
- 7) Lee, Y. B. et al.: *J. Food Sci.*, **44** (1979). In Press.