

녹육의 물리화학적 특성

세키카와 미츠오 / 오비히로 축산대학

당분해 과정과 기타 다른 소스로부터 쌓인 여러 가지 대사 물질 및 단백질의 분해로 생성된 펩티드와 아미노산은 박테리아의 훌륭한 거처가 된다. 미생물의 성장은 pH 값이 떨어지는 만큼 제지되지만 그들은 더 이상 혈액 소체(blood corpuscle)의 scavenging action을 받지 않는다. 혈액순환 중단에 따른 다른 또 하나의 현상은 조직 대사의 장기적 호르몬 조절의 정지이다. 이것이 떨어짐에 따라 온도가 떨어지고 지방이 응고한다. 지방이 산화하여 썩는 냄새가 나는 경향은 혈액이 산화 방지제의 공급을 갱신하지 못하고 또 조직에 산화 촉진제(pro-oxidant)가 축적되기 때문에 한층 더 용이하게 된다(Lawrie, 1991).

사후 초기 약 24시간 동안의 지배적인 환경은 사후 당분해 이다. 그러나 최고 pH 값에는 도달하기 전일 지라도 다른 분해 현상이 시작된다. 이것은 박테리아 부패 또는 단백질의 총체적 변성과 건조로 인하여 육을 먹을 수 없을 때까지 계속된다. 미생물 분해작용이 없는 상태로 미가공 처리된 틀기를 동결 온도 -1.5°C 이상으로 유지하는 것이 조절(conditioning)이라고 알려진 것으로 이것은 육의 부드러움 및 향미 증가와 오랫동안 연관을 맺어온 것이다.

변성된 단백질은 특히 단백질 분해 효소(proteolytic enzyme)의 공격을 쉽게 받는다. 조절 작업에서 관찰된 부드러움의 증가는 단백질로부터의 아미노산 및 펩티드 생성에 기인된 질소 수용액의 증가와 연관되어 있다는 것은 수년 전에 발견된 사실이다. 저 분자 펩티드와 유리 아미노산이 조절(conditioning) 과정에 여러 가지 육의 근형질 조각에 축적된다는 것은 이미 잘 알려져 있지만 그들의 구조와 소스는 아직 확실하게 규명되어 있지 않다.

여러 가지 단백질 분해 메커니즘에 의한 세포내 단백질 분해는 살아 있는 세포의 리소솜(lysosome) 및 시토플라슴(cytoplasm, 세포질) 경로로 분류할 수 있다. 시토플라슴 경로에는 ATP에 의존하는 메커니즘과 의존하지 않는 것이 있다. 최근의 연구로 ATP 프로테아솜(proteasome, 단백질 효소) 및 유비퀴틴(ubiquitin)으로 구성된 유비퀴틴 시스템이 여러 가지 이화(異化, catabolic) 상태에서 근육 단백질의 분해에 중요한 역할을 한다는 것이 알려졌다. 유비퀴틴은 분해를 목표로 하는 단백질과 결합한다. 유비퀴틴 분자는 76개의 아미노산 잔여물질로 구성된 단일 폴리펩티드 체인(polypeptide chain)이고 그 아미노산 sequence는 진화 동안 보



존 상태가 매우 좋다. 이 펩티드의 다른 일반적인 특성은 프로테아제 흡수에 대항할 뿐 아니라 넓은 범위의 pH와 온도에서 안정성이 매우 높은 것이다. 세포의 단백질 분해 유비퀴틴 시스템에 대해서는 임상 의약 및 세포 생물학과 같은 다양한 분야에서 많은 연구 조사를 했지만 이 펩티드가 고기 과학(meat science)분야에서는 별다른 주의를 끌지 못한 것 같다. 이 단백질은 여러 가지 세포의 기능에 관련되어 있는데 세포 내의 단백질 분해 규제 세포 사이클 규제 및 스트레스에 대한 대응이다. 유비퀴틴은 목표로 하는 단백질의 Lys 잔여 물질의 ϵ -amino group과 유비퀴틴 C-terminal Gly residue 사이에 isopeptide 결합을 통하여 목표 단백질에 공유결합되어 있다. 이 유비퀴틴 또는 결합된 단백질도 다른 유비퀴틴 분자와 결합하여 분과된(branched) 다중 유비퀴틴을 형성한다. 다양한 유닛의 유비퀴틴에 결합된 단백질은 26S proteasome에 의하여 분해된다.

조절과정에서 근형질 조각에 저 분자 펩티드가 축적되는 것은 CBS staining을 사용한 SDS-PAGE 프로파일에서 명백히 밝혀졌다는 것이 일반적인 견해이다. 그러나, 근형질 조각에는 그림 2의 8-kDa 유비퀴틴 밴드와 같이 조절과정에서 저 분자 성분이 감소할 수도 있다. 살아 있는 근육 세포에서 활동하는 프로테아솜, ATP 및 유비퀴틴이 포함된 유비퀴틴 시스템에 의한 단백질 분해는 사후 즉시 하는 고기 조절에 영향을 미치는 주요 인자 가운데 하나이라고 생각되는데 이는 이 시스템이 ATP를 필요로 하기 때문이다. ATP- 유비퀴틴-의존 단백질과 20S proteasome은 26S proteasome의 중심 축매이다. 살아있는

육체에서의 20S proteasome의 기능은 아직 분명치 않으나 ATP의 감소는 26S proteasome을 거꾸로 20S로 분열시키는 원인이 된다. 최근에는, 20S proteasome이 24 시간 동안 배양된 근육원섬유 단백질을 분해한다는 보고가 있었다.

조절과정에서 단백질분해 효소 작용의 구조적으로 중요한 측면은 다음과 같이 요약할 수 있다: (1) Calpain: tropomyosin T, desmin, connectin, tropomyosin; (2) Lysosoma enzymes: troponin T & I, myosin heavy and light chain, action tropomyosin, α -actinin, connectin, telopeptide of collagen; (3) ubiquitin, proteasome and ATP system: myofibrillar and/or sarcoplasmic proteins.

예소 사슴의 고기를 조절하는 연구는 거의 없었기 때문에 우리는 사슴고기를 냉장고에 저장하는 동안에 근형질 단백질의 전기 영동분리(electrophoretic) 형태 유리 아미노산의 축적 근육원섬유의 약화 및 pH의 변화를 조사하였고 그리고 사슴고기는 도살 후에 7-10일간 냉장고에 저장할 필요가 있다는 결론을 내렸다. 그리고 도살 과정 방법 및또는 야생 사슴의 방혈은 일반가축인 소와 돼지와 다르고 또 그 과정은 위생의 관점에서 규격화 되어 있지 않다. 그리고 예소 사슴고기에는 소고기와 비교할 때 pH가 빠르게 감소하고 유리 아미노산의 축적이 적고 색상 안정성이 낮은 등 장기적인 조절에는 적합치 않은 특성이 있다. 그러므로 관계시점부터 박테리아 오염까지 조절 기간을 조심스럽게 결정할 필요가 있다.

Appendix 1.

새롭고 간단한 분석에 기초한 골격근의 L-carnitine 레벨의 종(種) 및 근육 차이.

(Shimada 등, Meat Science, in print, 2004)

카르티닌(Carnitine)(β -hydroxy- γ -trimethylaminobutyrate)은 포유동물의 세포질과 조직에 널리 퍼져있는 성분으로 주로 골격 및 심장 근육에 분포되어 있다. 카르티닌은 식품소스(즉 고기 낙농품)를 통해서 체내로 공급되고 라이신(lysine)과 메티오닌(methionine)으로 생합성된다. 카르티닌은 인체 조직에 자유 및 에스테르화(esterified)된 형태로 존재하지만 정상 상태에서는 자유 카르티닌(L-CA)이 전 카르티닌의 약 80%를 차지한다. L-CA의 기능은 내부 미토콘드리아 막을 지나 그들의 산화 분해(β -oxidation) 위치까지 장쇄 지방산(長鎖 脂肪酸, long-chain fatty acid)의 운송을 돕는다(Bremer, 1983; Mitchell, 1978). 카르티닌의 이러한 중요한 기능과 조화를 이루어 인체의 카르티닌 결핍은 근(筋) 질환과 연관되어 있고(Engel & Anglini, 1973) 지방산 산화를 감소시킨다(Treem 등, 1988). L-CA의 다른 또 하나의 기능은 아세틸카르니틴(acetylcartinine)을 생산하여 미토콘드리아 내에서 acetyl-CoA의 과다 생산을 완화시키는 능력인 것 같다. 이 과정에서 미토콘드리아 에너지 대사(代謝)작용의 여러 단계에 필요한 중요한 기질(基質)인 자유 CoA(CoASH)가 해방되어 나온다. acetyl-CoA는 포도당 및 지방산 대사작용의 중요한 중간 매체이고 골격 근육의 Krebs cycle에서 완전히 산화한다(Waechter 등, 2002). 그러므로 L-CA의 농도는 세포 에너지 생산의 주요한 요

인인 것 같다. 쇠고기(둔부) 및 숫양(둔부)의 L-CA농도는 다른 식품의 그것 보다 더 높다(Mitchell, 1978; Tada, Sugiyama & Ozawa, 1984). 쇠고기와 숫양의 근육에는 다량의 미오글로빈(myoglobin, 색소 단백질) 산소 결합 단백질 및 육 품질의 주요 요소가 포함되어 있다. 미오글로빈(Mb)은 근육 세포에서 산소를 운반하고 저장하는데 중요한 역할을 한다(Covell & Jacquez, 1987; Wittenberg & Wittenberg, 1989). 더욱이 Mb은 저속 수축 적색 근육에 다량 존재하며 여기에서 대체로 호기성 에너지 경로를 용이하게 사용케 한다(Burke 등, 1971; Peter 등, 1972) 그러므로 L-CA와 Mb 사이에는 어떠한 관계가 있을 가능성이 높다. L-CA는 물에 녹는 양분이므로 저장과 조리 시에 이것이 손실될 수도 있다. 실제로 L-CA 농도는 조리 방법에 관계없이 육 내에서 손실된다(Nelson 등, 1985; Wakamatsu, 1999). 그리고 Nelson 등은 (1985) 소의 최장근의 L-CA 농도가 부검 중에 감소하였다고 보고하였다. 조직 내에서 L-CA 분석은 일반적으로 아세틸 CoA와 카르티닌 전이효소(acetyltransferase)의 존재 하에서 카르티닌의 아세틸카르니틴과 보조소(補酵素, coenzyme)로의 효소적 변환을 기초로 실시한다(CAT, EC 2.3.1.7)(Marquis & Fritz, 1964; Xia & Folkers, 1991). L-CA의 결정은 방사화학적 분석을 기초로 하며 이 방법은 감응성이 대단히 높다(Cederblad & Lindstedt, 1972). 이제 골격 근육에 존재하는 낮은 농도의 L-carnitine도 측정하기에 충분한 감응성이 있는 비 방사동위원소 방법인 효소적 방법에 대하여 설명하겠다.

본 연구의 목적은 (1) microplate를 사용하는 방법에 큐벳(cuvette) 효소 방법(Xia & Folkers, 1991)을 적응시키는데 필



요한 조건을 검사하고 (2) 여러 가지 동물의 신선한 semitendinosus muscle(반힘줄모양근) 사이의 L-CA 레벨을 비교하며 (3) 다양한 골격근 섬유 형식을 대비하는 부분이 포함되어 있는 새의 근육 사이의 L-CA 및 Mb를 비교하는 것이다.

동물들 사이에 M, semitendinosus의 L-carnitine과 myoglobin 농도: 14종의 동물의 반힘줄모양근의 L-CA와 Mb 농도가 테이블 1에 표시되어 있다. 본 연구에서 사용한 동물들 가운데 염소 근육의 L-CA농도가 가장 높아($11.36 \pm 0.71 \mu\text{mol/g}$ 습중량) 영계($0.69 \pm 0.27 \mu\text{mol/g}$ 습중량)에게서 발견된 것의 16배 이상이었다. Mb 농도도 염소 근육의 것이 가장 높았고($6.351.18 \text{ mol/g}$ 습조직) 돼지의 경우가 가장 낮았다($1.010.68 \text{ mol/g}$ 습조직). 염소 근육의 Mb 농도가 본 연구에서 사용한 다른 어떤 동물들보다 높았다($6.351.18 \text{ mol/g}$ 습조직). 홀스타인의 경우는 L-CA와 Mb 농도는 나이와 더불어 증가하는 경향이 있었다. 홀스타인의 나이는 L-CA 농도($r=0.96$) 및 Mb 농도($r=0.99$)와 관련이 있었다(테이블 1). 육을 위하여 상업적 목적으로 도살하는 나이에서는 영계, 돼지, 식용 소, 사슴 및 흑가이도 토종 말은 각각 $0.69, 1.09, 3.53, 4.57$ 및 4.95 mol/g 습중량이었다. 돼지, 영계, 식용 소, 흑가이도 토종 말, 및 사슴의 Mb 농도는 각각 $1.01, 1.37, 4.05, 5.84$ 및 6.01 mol/g 습중량이었다. 그러므로 L-CA 농도의 자릿수는 Mb 농도의 자릿수와는 일치하지 않았다. 그러나 이들 동물들 사이에서 L-CA와 Mb 농도는 밀접하게 연관되어 있었다($r=0.97$). 거기에 테이블 1에 표시된 모든 자료를 다 포함시켜도 L-CA와 Mb 농도사이의 상관 계수는 0.71 이었다.

본 연구에서는 동일한 방법으로 6종의 동물의 신선한 반힘줄모양근의 L-CA 농도를 측정하였다(병아리, 돼지, 소, 말, 사슴 및 염소). 소의 L-CA 농도는 1.67 에서 3.57 mol/g 습중량 사이에 있었다. L-CA 농도는 나이와 함께 증가하였는데 36개월 된 말 근육의 L-CA 농도는 3개월 된 말의 그것보다 역시 높았다. Rinado 등(1991)은 태아 시절에는 L-CA 농도가 일정하였고 레그혼 닭의 근육에서의 L-CA 레벨은 부화 후 180일 될 때까지 계속 증가하였다고 보고하였다. 현재의 연구 결과로는 소의 근육 L-CA 농도는 성장 기간에는 계속 증가하다가 32-36개월이 되면 최고치에 달한다는 것을 알 수 있다. 이 연령 때 식용 소를 육으로 사용하는 나이에 해당된다. 어른 소, 말, 사슴 및 염소의 근육 L-CA 농도는 병아리와 돼지의 그것 보다 높았다. L-CA 농도가 높은 이러한 동물들은 말을 제외하고 모두 반추(反芻)동물이다. 다른 반추동물의 경우 Merino 양의 근육(Henderson 등, 1983)과 아라비아 낙타의 근육 L-CA 농도는 각각 $9.320.54$ 와 $5.170.10 \text{ mol/g}$ 습중량이다. 나이 1, 2, 및 >3년의 순혈통 말의 총 카르티닌 농도는 각기 $10.5-18.8, 14.1-34.7$ 및 $21.3-35.5 \text{ mol/g}$ 건중량이었다(Foster & Harris, 1992). 말 근육에 대한 이러한 값은 대부분의 다른 종에 대하여 보고된 값보다 더 높은 것임을 알았다. Foster & Harris (1992) 도, 근육의 총 카르티닌 농도는 나이가 1, 2년이 될 때까지 아마도 말의 경우는 3년 이상이 될 때까지 증가한다는 생각을 제안한 것으로 판단된다. 그러므로 초식동물의 근육은 더 높은 농도의 L-CA를 필요로 하는 것 같다. <다음호에 계속> **인국양복**