

동물유래 영양섬유

- 유용한 식품으로서 콜라겐

전문연구위원 강계원

1. 서론

- 콜라겐(collagen)이나 그 조각(fractions)에 대한 기능이나 중요성에 관한 연구는 지난 20년 동안 많은 논문에 소개되어 왔다. 그러나 이런 종류의 순수 단백질인 콜라겐을 식품의 영양섬유(nutritive fiber)로 활용하려는 시도는 새로운 것으로 거기에 따른 생산 방법이나 특성들을 이 논문에선 재검토하고 있다.
- 1970년대 말에서 1980년대 초에 진전된 학설에 따르면 음식물이 장에서 정상적으로 소화되고 배설되려면 섬유소가 중요하다고 알려졌다. 우선 음식물이 위 안에서 소화되어 반유동체 소화물(chyme)로 변하고 십이지장을 거쳐 장으로 내려가려면 그 과정 속에 섬유(fiber)가 대사과정의 여러 면에서 관여한다. 이러한 근거는 섬유가 갖고 있는 생화학적 특성 때문이다.
- Cellulose, pectin, polysaccharide, collagen 이외 기타 여러 가지 음식에 있는 비활성물질들이 fiber에 속한다. 이러한 물질이 소화기관내 음식물의 상태와 부피에 작용하여 연동(peristalsis)과 유동성에 따라 지체와 이동에 중요한 영향을 준다. 이러한 섬유는 화학적 기능을 할 수 있는 기능물질(functional group)을 갖고 있어 용질과 작용하며 영양분의 흡수와 흐름을 조절하여 배설될 때까지 기여하게 된다.
- 다시 말해 fiber가 소화물의 일부를 흡수하게 되면 chyme의 조성이나 형태(phase)가 달라지고 장 내 pH 영향을 받게 된다. 소화기내 pH가 달라지면 섬유가 갖고 있는 카르복시기(carboxyl group)는 이온의 흡수를 완충시키는 역할을 한다. Carboxyl group은 특히 multiple charge를 가진 양이온(cation)을 chelate하게 함으로써 장내의 pH 조절에 크게 기여한다.

- 소화기 질병의 예방이나 치료에 영양섬유(nutritive fibers)가 중요하다는 보고는 여러 곳에서 나오고 이러한 fiber는 채소나 과일에서 주로 공급되는 것으로 생각했다. 그런데 collagen이나 그 조각들이 사람의 소화 작용에 식물성 fiber보다 더 효과적인 작용을 한다는 것이다.

2. 식품으로서 콜라겐

- Collagen을 긴급 상황에서 영양식품으로 사용하려는 노력은 여러 나라에서 시도된 바 있으며 특히 이러한 영양섬유가 필요에 따라 중금속, 독소, 발암물질 같이 사람에게 해로운 물질을 제거할 수 있기 때문에 여러 가지 노력이 시도되었다.
- 오래전부터 collagen을 영양가 높은 동물 단백질로 인정하여 아교질화시키거나 물에 불려서 사용하면 고기를 대신할 수 있는 식품으로 인정하고 있다. 그러나 collagen이나 그 단편들은 제한된 아미노산을 갖고 있어 사람이 필요한 모든 아미노산의 공급에는 불충분하다. 그럼에도 불구하고 순수한 단백질인 collagen을 생산할 수 있고, 제한적이긴 하지만 영양분이 있는 fiber라는 점과 또 다른 기능을 수반하기 때문에 여러 collagen 식품이 늘어나고 있다. Collagen 산물인 젤라틴(gelatin)에 대해서는 뒤에 기술한다.
- Collagen의 연구는 1930년경부터 시작되어 구조나 생화학적 성질은 많은 진전을 보고 있으나 식품으로 개발하는 연구에 대한 논문은 그리 많지 않다.

3. 콜라겐의 성질

□ 화학적 성질

- Collagen의 특징으로는 화학적으로 활성이 없고 특정 아미노산으로 구성되어 있으며 겔(gel)로 변화하는 저분자량의 단백질인 것을 들 수 있다. Collagen이란 용어는 처음 결합조직(connective tissue), 힘줄(tendon), 뼈에서 분리한 단백질로 “풀같이 되는 것”(giving rise to glue)에서 온 말인데, 물이나 산, 염기성 용액에서 끓이면 형태가 변

한다.

- 전자현미경으로 보면 collagen은 줄무늬 섬유 모양을 갖고 있는데 사람의 단백질 중 25-35%를 차지할 만큼 많은 양이다. 무게로 보면 사람 몸무게의 6%는 collagen이 차지한다. 이 collagen은 세포 밖에 있으며 특정 아미노산으로 구성되어 피부에 있는 collagen은 proline과 hydroxyproline이 전체 아미노산의 20%, glycine과 alanine이 50%를 초과한다. Aromatic(방향족)이나 다른 종의 고리(heterocyclic) 또는 유황기(sulfur)를 가진 아미노산은 거의 없거나, 있다 하더라도 매우 적은 양인데 이러한 아미노산은 실제로 collagen 자체에서 보다 다른 데서 섞여들어올 가능성이 높다.
- 전체적으로 사람이나 동물의 collagen은 대체로 비슷하여 glycine 33%, proline과 hydroxyproline 21%, alanine 11% 정도 포함되어 있다. 단백질 가운데 hydroxylysine과 hydroxyproline을 같이 갖고 있는 경우는 많지 않은데 collagen은 이런 면에서도 차이가 있다.

□ 탄력성과 흡수성

- Collagen은 약한 산성용액에 녹고 다시 침전시키면 무늬를 갖는 모양의 가는 섬유가 만들어진다. collagen은 거의가 polysaccharides, mucopolysaccharide 같은 고분자가 같이 있다. 정상적인 상태에서는 collagen 섬유는 늘이면 약간 늘어날 정도이지만 열을 가하거나 물을 흡수하면 섬유의 길이가 원래의 1/3~1/4로 줄어들며 마치 고무 같은 탄력을 갖게 된다. 이것은 수소의 연결고리가 끊어진 cross-linking chain이 떨어져 나가면서 생기는 현상이다.
- 산이나 알칼리, 혹은 소금물에 넣으면 collagen은 많은 양의 물을 흡수하는데 콜라겐에 따라 차이가 있어 이것으로 성질을 구분하기도 한다. 예를 들어 어떤 collagen은 산이나 알칼리 용액에서는 물을 흡수하지만 소금물에서는 흡수하지 않는 것도 있다. 이러한 성질은 collagen의 팽창과 pH의 관계를 조사하게 되며, collagen 섬유의 isoelectric charge와 분자 수준의 단백질 연구에 도움이 된다. 또 다른 collagen은 중성용액에서 팽창하여 미세 섬유가 두터워지면서도 길이에 변화가 없는 경우도 있는데 이때는 collagen의 미세 섬유가

서로 떨어져 filaments(홀섬유)로 되었다가 다시 pH를 조절하면 원형으로 돌아가기 때문이다.

□ Tropocollagen 과 procollagen

- 나이 어린 동물의 피부를 찬 소금물이나 혹은 약한 산성용액에 오래 담가 두면 collagen이 풀어져, 가는 섬유의 단백질 용액이 된다. 이때 이 가는 섬유의 단백질을 tropocollagen이라 하며 tropocollagen의 분자량은 300kDa으로, 3개의 sub-unit로 되어 있다. 각 sub-unit는 1000개의 아미노산으로 연결된 사슬(chain)로 왼쪽으로 꼬인 coil 같은 모양을 하고 있다. 왼쪽으로 꼬인 헬릭스(left hand helix)는 아주 치밀하게 꼬여 있어 3개의 아미노산으로 한 바퀴를 돈다(three amino acid residues per turn).
- 이렇게 collagen을 만드는 chain도 다 같은 것이 아니고 여러 가지 종류가 있어 이 sub-unit가 어떻게 조합되어 있느냐에 따라 collagen의 type이 결정된다. 지금까지 알려진 sub-unit는 여러 가지이나 대체로 4개의 잘 알려진 type이 존재한다.
- Type I collagen은 $\alpha_1(I)$ 과 α_2 의 두 가지 chain으로 만들어 졌으며 이 중 $\alpha_1(I)$ 은 두개 그리고 α_2 한 개와 결합하여 $[\alpha_1(I)]_2\alpha_2$ 의 형식으로 되어 있다. 다른 Type의 콜라겐은 같은 chain끼리 세 개가 모여 각각 type II, type III, type IV collagen을 만들고 있다. 이들 type을 식으로 보면,
 - Type II : $[\alpha_1(II)]_3$
 - Type III : $[\alpha_1(III)]_3$
 - Type IV : $[\alpha_1(IV)]_3$ 로 표기하고 있다.
- Collagen은 procollagen에서 만들어지는데 procollagen은 유전자에서 만들어진 세포 안 polypeptide로 분자량이 tropocollagen 보다도 많은 아미노산 사슬이다. Procollagen은 분자량이 20-35kDa 정도로 tropocollagen에 비해 N과 C 말단에 많은 amino acid를 갖고 있으며 globular domain도 갖고 있어, coiling 되지 않은 상태이다. N 말단에 붙어 있는 아미노산은 cystein과 콜라겐에서 쉽게 볼 수 있는

Gly-Pro-Hydroxyproline 서열이 반복되고 있으며, C 말단에는 cross-linking 하는 disulfide bridge가 있다. 이 disulfide bridge가 나중에는 collagen fibril이 서로 꼬이는데 기여하게 된다.

- Procollagen은 골지체(Golgi) 안에서 다듬어지고 다시 세포 밖으로 나오면서 단백질 분해 효소(procollagen peptidase)에 의해 globular domain이 잘려져 나가 우리가 아는 tropocollagen이 된다. Collagen에 있는 hydroxyproline이나 hydroxylysine은 mRNA에 번역되면서 proline과 lysine이 수산화기를 받아들이며, galactose, galactoxyl glucose 같은 당은 post translation 수정 과정에서 lysine residue에 연결된다.

4. Gelatin

- 젤라틴은 주로 동물의 피부와 뼈를 산성 혹은 염기성(많이 쓰는 pH 3.5내외) 용액으로 처리하여 칼슘을 제거하고 60°C의 물로 추출하면 나중에 젤라틴이 될 용액을 얻게 된다. pH의 중요한 역할은 수화작용을 통해 isoelectric point를 변화시키고 arginine residue나 말단의 아미노산이 떨어져 나가 화학적 변화를 일으킨다. 젤라틴 용액은 40°C 이하에서 그 농도가 1% 이상이면 gel로 변한다.
- 젤라틴이 높은 온도에서 gel 상태로 되기 전까지 아미노산의 조성은 collagen의 조성과 비슷하며 분자량이 15K에서 25KDa로 확인되었다. Gelatin을 만드는 방법에 따라 다르기는 하지만 때로는 아주 단단한 sol 상태로 바뀔 수도 있으나 젤라틴 자체는 영양섬유의 가치는 없다. 그러나 gelatin에 다른 영양제를 첨가하거나 활용하여 유화제(emulsifying agent)로 또는 sausage나 육류의 보관제로 이용하고 있다.
- 가축의 피부와 뼈뿐만 아니라 다른 여러 기관에서도 gelatin을 만들 수 있는 collagen이 포함되어 있는데 피부에는 dry weight로 80-90%가 collagen이며 힘줄의 86%, 연골(cartilage)의 46-67%, 뼈의 17-25%, 혈관의 14-65%, 각막 혹은 공막(sclera)의 70%, 근육의 10%는 콜라겐 물질이다.
- 매년 전 세계적으로 생산되는 gelatin의 양만도 200,000톤은 넘고 그 중

40,000톤은 유럽에서 생산하고 있다. 그러므로 gelatin을 생산하기 위한 여러 가지 방법이 개발되고 또 지금은 gelatin이 아닌 collagen을 그대로 얻을 수 있는 방법을 시도하고 있다.

5. 응용

- 최근에 이와 같이 콜라겐이 우리 몸 곳곳에 다량 함유되어 있어 건강을 위해 필수적인 물질이라는 사실이 알려지면서 건강식품 혹은 의약품으로 인기를 얻고 있다. 콜라겐은 많은 건강 보조식품들과 화장품들에 첨가되고 있으며 요구르트, 음료수, 과자 등에도 첨가하고 그 밖에도 고순도 콜라겐 제품을 개발 시판하고 있다.

◁ 전문가제언 ▷

- 콜라겐은 세포의 외벽 쪽에 놓여 있는 특정한 구조를 갖고 있으며, 인체 각 기관의 구성과 탄력에 중요한 역할을 하는 단백질로 알려져 있다. 최근에 이 단백질이 영양섭유로서 주요할 뿐 아니라 인체대사와 노화에도 연관되어 대단한 각광을 받고 있다.
- 이 논문에서는 이러한 collagen이 어떻게 영양섭유로서 작용이 가능한지를 생화학적인 기전으로 검토하고 collagen의 식품으로서의 가치를 기술하고 있다. 특히 콜라겐의 산물인 젤라틴의 생산방법과 그 이용방법을 검토하고 있다. 다만 이 요약에서는 gelatin의 생산방법의 기술적인 내용보다 앞부분의 일반적인 collagen에 대한 화학적 특성을 주시하였다.
- 오래전부터 collagen을 영양가 높은 동물 단백질로 인정하여 아교질화시키거나 물에 불려서 사용하면 고기를 대신할 수 있는 식품으로 인정하고 있다. 그러나 collagen이나 그 단편들은 제한된 아미노산을 갖고 있어 사람이 필요한 모든 아미노산의 공급에는 불충분하다. 그럼에도 불구하고 순수한 단백질인 collagen을 생산할 수 있고, 제한적이긴 하지만 영양분이 있는 fiber라는 점과 또 다른 기능을 수반하기 때문에 여러 collagen 식품이 늘어나고 있다.
- 최근 collagen을 효소 분해한 수용성 펩티드로 물에 잘 녹고 소화흡수가 잘되는 상품으로 개발하여 섭취하면 노화를 방지하고 미용효과가 있다는 등 건강식품 혹은 약제로 선전하고 있다. 국내에서는 collagen에 대한 연구가 아직 많이 이루어지지 못하였고 구체적인 생산기술도 갖추고 있지 못한 실정이다. 현재 필요한 것은 학문적인 근거를 쌓고 그 기초를 단단히 하여 다른 나라와 경쟁할 수 있는 기술의 축적이 필요하다.
- 이 논문에서 collagen을 식품으로 활용하는 논문들을 검토한 내용이며 따라서 gelatin의 생산에 많은 양을 할애하게 된 것 같다. 그러나 최근에는 collagen에 대한 관심이 의학적으로 더 클 것으로 생각된다.