

식이섬유의 주요기능

Keisuke Tsuji

일본 국립건강 영양연구소

Nutritional Role of Dietary Fiber - Recent Knowledge on Dietary Fiber

Keisuke Tsuji

National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan

ABSTRACT—Non-absorbable substances in foods, for instance dietary fiber had been previously known as a non-nutritive part of foods. Recently, such a category has been gradually changed to as one of nutrients. As a main reason, dietary fibers includes many poly- or oligo-saccharides, which are resistant to alimentary hydrolyzing enzyme. However, parts of them are fermented by intestinal micro-organism to produce short chain fatty acids and so on. They are absorbed and utilized by human being. Now, it may be naturally accepted that dietary fiber is a kind of nutrients.

Dietary fiber exerts many useful functions on body. They are classified into three large functions, physicochemical function, physiological function and biological function. The last function of dietary fiber will be presented in the symposium.

Dietary fiber has several kinds of nutritional properties. One is energy source. Short chain fatty acids (SCFA) are oxidized and produced energy in body. Dietary fiber has not high energy, but not zero kilocalories. Another one is to be a constitutional component of higher animals' tissue. Last but most important one is physiological functions of dietary fiber.

Keywords □ Dietary fiber, Physicochemical function, Physiological function, Biological function

식이섬유는 「식품 중의 난소화성·난흡수성 성분의 총체」라고 정의되어지나 생리적인 카테고리에 속하기 때문에 화학적으로는 여러 성분을 함유한다. 그 종류가 다양하기 때문에 식이섬유의 기능은 다방면에 걸쳐있다. 과거부터 「물리·화학적 기능」과 「생리기능」은 잘 알려져 있으나 여기서는 새로운 식이섬유의 「생물학적 기능」을 제창하여 이들 상호작용으로부터 영양기능에 대해 설명하고자 한다.

I. 물리·화학적 기능

식이섬유의 물리적 기능은 수분을 흡착하는 보수성, 가용성 섬유유의 특유한 작용인 점성을 갖는다는 것이다. 화학적 작용으로는 이온결합에 의해 여러

종의 양이온, 음이온과 결합하는 것이다. 또한 비이온적으로 흡착하거나 수소결합을 할 수도 있다. 이들 기능은 식이섬유 샘플의 입자도나 가공, 조리 등에 의해 작용정도가 변화한다.

(1) 보수성

최근의 연구에 의하면 보수성을 보다 세분할 수 있다. 물에는 식이섬유와 결합하는 결합수와 단순히 함유되어 있는 비결합수로 나눌 수 있다. 생리적으로 중요한 것은 결합수이다. 시험관 내에서의 식이섬유의 보수능력은 이를테면 먹기 전의 능력일 뿐 변의 양적증가와는 그다지 관련이 없다. 대장에서 식이섬유의 발효가 된 후의 난발효성 부분과 부패미생물의 총량, 즉 변으로서 배출되기 직전 상태의 잠재보수성(결합수의 보수성, 침투흡인법에 의해 구해

진다)에 대한 연구가 진행되고 있다. 시험법으로는 분변배양 후의 잠재보수력을 구하는 경우가 많다. Pectins이나 Gums과 같은 수용성 식이섬유는 셀룰로우스나 밀기울과 같은 불용성 식이섬유보다 높은 보수력을 갖는다.

(2) 점도

Pectins이나 Gums류, 알긴산 나트륨과 같은 식이섬유는 점도가 높은 용액을 형성한다. 점도는 예를 들어 Pectins에 있어서는 분자량과 메틸에스테르기와 관련지어 어느쪽이든 감소하면 점도가 저하한다. 수용성 식이섬유의 점도는 위로부터 소장으로의 음식물 이동과 관련지어 각종의 영양소나 식품성분의 흡수를 조절한다. 예를들어 소장에서의 glucose 흡수속도를 저하시켜 혈당의 상승을 늦춰 인슐린 절약작용을 가져온다. 그러나 고점도의 다당은 소장 용모에 풀처럼 달라붙어 그 신진대사를 촉진하는 면도 갖는다. 반면 위벽을 지켜 위궤양의 예방효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

(3) 이온교환작용

산성다당은 카르복실기를 가지고 있어 양이온 교환능을 가지고 있다. 알긴산은 해초 중에서는 칼슘과 결합하여 불용성이나 추출하면 나트륨 또는 칼륨염으로 되어 수용성으로 된다. 위내에서 이들 양이온은 일단 해리되며 소장에서 pH가 상승함과 동시에 재결합한다. 이 작용은 미네랄의 흡수, 이용에 영향을 준다. 철, 칼슘, 아연, 동 등 2가의 금속은 식이섬유에 의해 흡수가 억제되나 한편으로 해초의 알긴산은 이들과 결합하여 공급원으로서의 역할을 하고 있다. Pectins은 메톡실화되어 있으므로 유리카르복실기가 적어 이런 작용을 기대하기는 어렵다. 연자 등은 혈압상승인자로서 나트륨, 하강인자로서 칼슘에 착안하여 알긴산 칼륨을 고혈압 rat에 섭취시킨 결과 나트륨 배출증가, 뇨중 칼륨증가가 일어나는 것으로 보아 이온교환작용에 의한 칼륨의 흡수 촉진과 나트륨의 배설촉진이 예상되어진다.

(4) 결합작용

식이섬유는 *in vivo*나 *in vitro* 어느 경우에도 담즙산과 결합이 가능하다. 일반적으로 셀룰로우스는 별로 결합하지 않으나 밀기울이나 알파파는 결합이 가능하며 pectins과 gums은 매우, 리그닌은 다량 결합한다. 과거 리그닌에 대한 연구는 목재로부터의 것이 대부분이었다. 최근 연자 등은 카카오리그닌을

Table 1. Functions of dietary fiber

1. Physicochemical function.
1) Water holding capacities
2) Viscosity
3) Binding capacities
Cation, Anion, Ion-exchange capacities
2. Physiological function
1) Chewing and salivation
2) Satiation and satiety
3) Gastic emptying
4) Digestion and absorption of nutrient
5) Entero-hepatic circulation
6) Transit time
7) Intestinal morphology
8) Intestinal cell proliferation
3. Biological function
1) Microflora
2) Vitamin production
3) Short chain fatty acids production
4) Gas production
5) Changes of pH

Table 2. Nutritional role of dietary fiber

1. Energy source via fermentation
2. Constitutional component of organ or tissue
3. Physiological functions

정제하여 리그닌의 담즙산 결합능을 측정했다. 결합능은 pH 의존성이 있어 산성측에서는 결합력이 크고 pH가 증가함에 따라 감소하는 것을 알아냈다. 또한, 콜레스테롤 대사에 미치는 영향에 대해서 검토했다.

조리할 때 생성되는 발암성과 관련된 Tryp P1, Tryp P2, Gluta P1, IQ, Methyl IQ 등이 각종 식이섬유원과 결합한다. 이들 섬유원중 리그닌의 결합능이 중요하다는 것이 시사되었다.

II. 생리학적 기능

물리·화학적 기능은 단독 또는 복합적으로 생체에 영향을 끼친다. 그 결과, 소화기관을 중심으로 하여 혈액성상 및 각종 조직의 반응이 나타난다.

(1) 저작효과와 포만감

저작은 단순히 큰 음식물을 씹어서 작게 하여 넘기기 쉽게 해주는 것만이 아니다. 충분히 씹는다는 것은 신체의 발육 뿐만 아니라 대뇌의 발달을 통하여 정신적인 발달을 키우는데 절대적인 역할을 하고 있다.

식이섬유가 많은 음식물은 잘 씹지 않으면 안되며 이것이 심신양면에 큰 영향을 끼친다. 특히 타액의 분비를 촉진하고 포만감을 갖게 하는 것은 자칫하면 과식하는 것을 기피하는 포식시대에 있어서는 비판이나 그에 수반하는 성인병 예방에도 도움이 된다.

(2) 위내 체류시간에의 영향

점성다당은 겔 매트릭스를 형성하여 그 안에 영양소를 포함하고 위로부터 소장으로의 이동을 늦추게 한다. 위내 체류시간의 지연은 췌장로우스에서는 볼 수 없으며 그 영향은 식후 혈중 glucose 상승을 억제하고 소량의 인슐린으로 당처리가 가능하게 한다. 또한 위내체류시간을 길게 하는 것만으로 pH의 저하가 일어나 결합성 미네랄이 유리된다. 철, 칼슘은 pH가 저하될수록 소장에서의 흡수가 좋아지므로 생체에 있어서는 유리한 조건으로 생각되어진다.

(3) 소장의 소화, 흡수기능

영양소 중 단백질, 당질, 지질, 지용성 비타민, 미네랄 등의 흡수를 식이섬유가 약간 억제하는 것이 보고되어 있다. 그 일부는 췌장의 소화효소 활성화의 저하에 의한 것이다. 그 기전은 별로 알려져 있지 않으나 정제하지 않은 식이섬유원에는 가수분해 효소의 저해제가 존재하기 때문인 것으로 알려져 있다.

미네랄의 흡수 저해는 식이섬유의 단점으로 되어 있으나 양이온 전부를 흡수저해하는 것은 아니고 일부의 흡수저해만 해당된다. 어찌면 미리 칼슘, 칼륨 등의 유용한 미네랄을 결합시켜 놓게 되면 그 이용이 좋아진다는 것은 전술한 이온교환반응의 원리로부터도 기대 가능하다고 할 수 있다.

(4) 담즙산 분비의 촉진

식이섬유의 일부는 담즙산과 소장내에서 결합하여, 변으로 배출 또는 대장내에서의 전환이 촉진된다. 그 결과, 장관순환을 하고 있는 담즙산이 감소하여 그 보충을 위해 담즙산의 신합성과 변으로의 배출량 증가가 일어나게 된다.

(5) 소장형태와 세포분열

유럽의 성인 십이지장 용모는 주로 指狀이나 아

프리카, 아시아의 성인은 보다 짧고 폭이 넓은 葉狀을 하고 있다. 샌프란시스코의 채식주의자는 아시아인에 가깝다. 식성이 변화하면 용모가 변화하는 것이 알려져 있다.

수용성 식이섬유는 점성이 높고 위로부터 소장 내부의 세포를 박리시키는 작용이 강하다. 한편 불용성 식이섬유는 입안에서는 비교적 오래가나 의외로 조직손상은 적다. 보통식사라도 미세용모의 신생은 매우 빠르며 2~3일에 회복된다. 식이섬유는 이 중요한 역할에 관여하고 있다. 수술 후의 비경구적 영양 보급에 있어서도 식이섬유가 없으면 그 기능의 회복이 어려운 것으로 되어 있다.

(6) 소화관 내용물의 통과시간에의 영향

초기에는 식이섬유는 모두 그대로 변으로 빨리 배출되는 것으로 생각되어졌다. 즉 입으로 들어와 변으로 배출될 때까지의 통과시간이 단축된다고 믿고 있었다. 확실히, 불용성 셀룰로우스의 경우는 그렇다. 그러나, 수용성 식이섬유를 섭취시킨 rat에서는 위내체류시간이 반대로 길어진다는 것이 잘 알려져 있으며 대장에서의 발효를 늦게 하는 원인이 된다.

III. 생물학적 기능

식이섬유의 큰 특징은 소장에서의 소화, 흡수없이 대장내에서 미생물의 영양소로 되는 것이 많다는 것이다. 그 결과, 장내세균 등이 변화하여 발효에 의해 생성되는 단쇄지방산, 비타민류, 가스 등이 장내 pH를 변화시켜 또는 일부가 흡수되어 에너지원이 되며 여러가지 영양기능을 발휘한다. 다른 영양소가 소장으로부터 그대로 흡수되어 기능을 발휘하는 것과는 크게 다른 점이 있다. 이와 같이 식이섬유가 우선 「다른 생물(장내미생물)에 영향을 주어 그 생물이나 대사물이 숙주인 생체에 대한 기능」을 「생물기능」이라 총칭하며 정의를 내리는 것이 의의가 있다 하겠다.

(1) 장내세균총의 변화

장내미생물은 기본적으로 없는 편이 좋을 것 같다. 무균동물이 통상의 사육동물보다 오래사는 경향이 있기 때문이다. 그러나 인간은 극히 적은 예를 제외하고는 무균적인 상태에서 생활하는 것이 곤란하다. 장내에 균이 상주한다고 하면 그 균이 숙주인 인간의 건강에 대해 어떤 면에서 기여한다는 사실은

매우 흥미있는 일이다. 유익한 균과 해로운 균으로 분류할 수 있으나 이는 균자체의 유해 유무보다도 그 대사물이 숙주에 유용한가 유해한가로 분류되는 경우가 많다. 현재, 유해한 균으로 되어 있더라도 장내 연구역하에 따라 유용균이 될 수도 있으며 그 반대도 가능하다.

식이섬유가 대장, 특히 결장에 도달하면 난효수성의 탄수화물이 거의 대부분이므로 이것을 영양원으로 하는 장내 미생물이 증식한다. 그러나, 식이섬유중에서도 리그닌은 우세한 균과 열세인 균으로 나눌 수 있으나 식이섬유의 종류가 많고 더구나 균속 level에서의 연구로는 반드시 확증이 얻어져 있는 것은 아니다.

난소화성의 식이섬유는 결장내용물의 용적을 증가시키고 회석하는 작용이 있으므로 분변의 단위중량당 비교에는 문제가 있다.

(2) 영양기능

비타민 B군의 결핍상태에서 셀룰로우스를 섭취시키면 혈중 비타민 B의 level이 감소되지 않는다는 것이 일본에서는 훨씬 이전부터 인정되어 왔다. 장내미생물이 식이섬유를 이용하여 비타민 B를 생성하고 이것이 흡수 이용되기 때문이라 생각되어지고 있다. 식이섬유가 실제 에너지원으로서 제로라고 평가되어도 좋은가 하는 것에는 매우 큰 문제가 있다.

식이섬유는 장내미생물에 의해 발효되며 대사물인 단쇄 지방산이 흡수, 이용되기 때문이다. 식이섬유의 종류에 따라 그 영향 받는 정도가 다르다. 리그닌과 같은 방향족 폴리머는 매우 분해되기 어려워 에너지원으로서의 기여도는 낮은 것으로 되어 있다. 한편, 난소화성 당류는 매우 큰 영향을 준다. 균에 따라 대사된 단쇄 지방산이 체내에 흡수된 후 그 종류에 따라 체내에서의 이용 방식이 다르다. 우선 낙산은 대장에서 대부분이 에너지원으로서 이용된다. 그러나 대장 뿐 아니라 소장이나 위의 용모세포의 분열에 불가결한 인자로서 주목되어진다. 프로피온산은 간으로 들어갈 때는 혈중 농도가 높으나 나올 때는

낮아 지게 된다. 최근 간에서의 콜레스테롤 합성 저해 작용이 있는 것이 발견되어 혈중 콜레스테롤치의 저하에 관여하는 것이 주목되고 있다. 초산은 일부가 에너지원으로서 이용되며, 일부는 당이나 지방 합성원이 된다.

단, 발효에 의해 생성된 휘발성의 단쇄지방산이 체내에 흡수되어 지방으로 변화되는 경우는 적고 glucose보다도 빨리 에너지원으로 전환되어 탄산가스와 물로 되어 버린다. 이와같이 단쇄지방산의 인간에게 있어서의 이용방법은 초식동물과 별로 차이가 없다.

(3) 가스생산

식이섬유나 lactase 활성 저하 환자에게 유당을 투여하면 호기나 가스로의 가스배출이 빈번해지게 된다. 특히, 수용성 식이섬유인 펙틴이나 난용성의 xylan에 의해 생성량이 많아진다. 가스성분 중에는 메탄과 수소가스가 양적으로 많으나 메탄의 경우에는 개인차가 있어 항상 생성되는 것은 아니다. 메탄생성균이 장내에 상주하지 않으면 생성되지 않는다.

한편, 수소가스의 경우에는 대부분이 사람의 호기로 배설된다. 더우기, 식이섬유의 종류나 양에 따라 변화하므로 장내 미생물의 발효량을 아는 지표로 유효하다고 생각된다.

그러나, 가스 중의 수소를 완전히 포집하여 정량하는 것은 곤란하다. 그러나, 호기 중의 것은 비교적 포집하기 쉽고 또한 가스 수소량과의 상관계수도 0.44로 높다. 수소가스는 일부 메탄생성에 이용된다.

(4) pH의 변화

유산이나 단쇄지방산 발효는 대장내의 pH 저하를 가져온다. 이 작용은 Bifidus균에서 잘 알려져 있으며 pH의 저하는 혐기성균의 증식을 억제해 단백질 유래의 질소나 유황을 가진 유해물질의 생성을 억제한다. 이들 기능은 영양기능을 주로 하나 장기적으로는 여러가지 성인예방에 기여하는 인자로서 작용하는 것이라 생각할 수 있다.