

국내의 기술정보

해조식이섬유와 장내 Flora

김 영 동

표준화연구부

1. 머리말

우리들이 흔히 먹는 다시마나 미역, 김 등의 해조에는 육상식물과 같이, 식이섬유(대부분이 사람의 소화효소에서는 분해되지 않는 다당류)가 다량으로 함유되어 있다. 식이섬유는 예전에 단순히 비소화물로 취급되어 영양적인 면에서는 경시되었다.

그러나 근연에는 성인병예방이나 건강개선에 식이섬유의 역할이 밝혀짐에 따라, 반대로 식이섬유를 적극적으로 이용한 다양한 식품이나 음료가 개발되고 있다.

이들테면, 해조를 먹는 다음날은 어쩐지 배 속의 상태가 좋아지고, 배변시 상쾌감을 준다. 대체적으로 해조의 식이섬유는 육상식물과 같이 정장작용(장내환경의 개선작용)이 있는 것으로 알려졌다.

해조는 서식환경이 육상식물과 다르므로, 육상식이섬유와 장내균의 관계에 관한 연구는 많이 이루어졌으나 해산식이섬유의 영향에 대한 연구는 매우 적다.

2. 해조의 종류와 식이섬유

식품으로 이용되고 있는 해조류는 주로 다시마,

미역, 툇 등의 갈조류, 참김, 방사무늬김 등의 홍조류 그리고 파래, 홰파래 등의 녹조류가 있다.¹⁾ 이들의 세포벽에는 육상식물과 같이 cellulose가 함유되어 있음은 물론, 기타 해조특유의 식이섬유가 함유되어 있다.²⁾

갈조류에는 alginic acid 및 fucoidan이 세포벽 성분으로서, laminaran이 저장다당류로서 함유되어 있다.

홍조류는 그의 종류에 따라 다르고, 홍조류 속의 세포벽에는 xylan, mannan, porphyran 등이 함유되어 있으며, 그의 한천이나 carageenan을 다량으로 함유하고 있는 것도 있다.

녹조류의 세포벽에는 녹조황산다당류가 함유되어 있다.

이러한 다당류 중 alginic acid 나 carageenan 등은 수용성으로 점성이 높아, 증점제로 가공식품에 흔히 사용될 뿐만 아니라, 배변개선작용, 유해물의 배설촉진 등의 유효성에 대해서 보고되었다.³⁾

이외의 다당류에 대해서도 항종양성이나 혈청의 생화학적 성상의 영향 등은 육상식물유래의 식이섬유와 같이 많은 연구자에 의해 조사되어, 대체적으로 건강에 좋은 영향을 미치는 것으로 보고되었다.⁴⁾

3. 장내균의 Flora와 식이

대장이라고 하면 20년전까지만 하더라도, 대장내 용물에서 수분을 흡수하고, 남은 gas를 분변으로 배설할 뿐이라는 기관으로 생각하였는데, 근연에

여러 연구를 통해, 대장에서 활동하고 있는 세균류 (장내균)가 크게 주목을 받고 있다. 사람의 대장내 용물에는 생균수로 10^{11} /g(대장내에 1조개 이상), 종(species)로는 100종류 이상의 세균이 생활한다. 이 공존체인⁵⁾, 소위 장내 flora는 소장에서 흡수되

표 1. 장내균에 의한 갈조다당류 및 홍조다당류의 이용성 시험

균종명	갈조다당류			홍조다당류	
	Alginic	Laminaran	Fucoidan	Xylan / Mannan	Porphyran
<i>Bacteroides</i>					
<i>B. ovatus</i>	+	+	-	+/-	-
<i>B. vulgatus</i>	-	-	-	-	+/-
<i>B. distasonis</i>	-	-	-	-	-
<i>B. flagilis</i>	-	-	-	+	+
<i>Eubacterium</i>					
<i>E. ventriosum</i>	-	-	-	-	-
<i>E. aerofaciens</i>	-	-	-	+	-
<i>Bifidobacterium</i>					
<i>B. adolescentis</i>	-	-	-	+	-
<i>B. longum</i>	-	-	-	-	-
<i>B. bifidum</i>	-	-	-	-	-
<i>B. infantis</i>	-	-	-	-	-
<i>B. breve</i>	-	-	-	-	-
<i>Peptostreptococcus</i>					
<i>P. productus</i>	-	-	-	-	-
<i>Escherichia</i>					
<i>E. coli</i>	-	-	-	-	-
<i>Enterococcus</i>					
<i>E. faecium</i>	-	-	-	-	-
<i>E. faecalis</i>	-	-	-	-	-
<i>Clostridium</i>					
<i>C. clostridiform</i>	-	-	-	-	-
<i>C. innocuum</i>	-	-	-	-	-
<i>C. ramosum</i>	-	+	-	+/-	-

GAM 반류동배지에 각 균종을 접종하여, 각 다당류가 발효에 의하여 배지중의 pH가 저하할 경우 이용성의 양성(+), pH의 변화가 없을 경우는 이용성의 음성(-)로 하고, 동일 균종에서도 균주에 따라 이용성의 유무가 있는 경우(+/-)로 함.

지 않고 대장까지 도달한 식이성 성분에 대해서, 사람의 소화효소 보다는 훨씬 강력한 효소에 의해 분해, 대사, 발효작용은 한다.⁶⁾ 그의 대사물에는 단쇄지방산이나 비타민류 등과 같이 건강에 유용한 것이 있다면, ammonia나 skatole 등의 유해한 부패산물도 있다.⁷⁾

특히 근연에는 *Bifidobacterium*의 정상작용, 면역부활화 등의 유효성에 대한 연구가 많이되어, *Bifidus* 활성인자의 개발이 활발하게 진행되고 있다.⁸⁾

4. 대표적인 장내균종의 해조다당류 이용성

식이섬유는 사람의 소화효소에서는 분해되지 않음으로, 소장에서 흡수되지 않고 대장에 도달하게 되어 장내 flora에 영향을 미치는 것으로 보고 있다.

그러나 지금까지 육상식물유래의 식이섬유의 연구가 많이 수행된 것에 비하여,⁹⁾ 해조식이섬유와 장내균flora의 관계에 대한 연구보고는 매우 적다. 여기서는 久田 등이^{10,11)} 사람의 대장에 살고 있는 대표적인 18균종을 이용하여, 해조식이섬유 중, 갈조다당류인 alginic acid, laminaran 및 fucoidan, 그리고 방사무늬김에서 추출한 xylan/mannan 및 porphyran에 대해서 분해성을 조사한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1에서 나타난바와 같이 alginic acid는 *Bacteroides ovatus*만이 이용하고, laminaran은 *B. ovatus* 및 *Clostridium ramosum*에 의해서 이용되었다. xylan/mannan은 *Bifido-bacterium*의 일종인 *Bifidobacterium adolescentis*의 외에도 몇 개의 *Bacteroides*종에 의해서 이용되고, porphyran도 수종의 *Bacteroides*종에 의해서 이용되었다.

이러한 결과에서 사람의 소화효소로 분해되지 않는 해조다당류가 대장내에서는 미생물의 효소에 의해서 이용되고, 장내균 flora 및 장내환경에서 건강에 영향을 미칠 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

5. Rat의 장내 Flora에 미치는 해조섭취의 영향

시험관내의 실험에서는 위에서 말한바와 같이 여러 종류의 해조다당류를 발효시킬 수 있다는 것이 밝혀지게 되었다. 이에 따라 이러한 해조식이섬유가 실제로 장내 Flora에 어떠한 영향을 미칠 수 있는가를 알아보기 위해 조사한 결과를 소개하고자 한다.^{11~13)}

식이섬유무첨가 사료에 다시마 2%, 방사무늬김 2%, 또한 각각의 해조류에 함유된 다당류를 첨가한 사료를 정상 수컷rat에 2주간 투여하여, 분변 또는 맹장내의 미생물flora의 변동을 조사하였다. 식이섬유의 평가에 있어서는 일반적으로 *Bifidobacterium*의 점유율의 증가나 분변pH의 저하, ammonia량의 감소 등을 장내환경의 개선지표로 하였다.

5.1 다시마섭취에 대한 영향

2%다시마식균에서는 *Bacteroidaceae* 나 *Bifidobacterium* 등 혐기성 균군의 대부분이 증가경향을 나타내고, 총생균수가 증가하였다.

한편, 부패산물을 생성한다는 *Enterobacteriaceae* 나 *Staphylococcus* 등의 호기성(엄밀하게는 통성혐기성이지만 여기서는 편위상, 호기성으로 나타냄)의 균군이 증가하였다(그림 1). 앞에서 설명한 시험관내의 실험에서는 갈조다당류의 alginic acid나 laminaran은 *Bacteroides* 및 *Clostridium*의 일부 균종만이 이용함으로, alginic acid나 laminaran을 이용하지 않는 다른 많은 균군이 증가하는 경향을 보이는 이 결과는 의외의 사실이다.

10%laminaran을 먹일 경우, 다시마를 먹인 경우에 비하여, 혐기성의 균군, 특히 *Bifidobacterium*이 현저하게 증가하고, 호기성의 *Staphylococcus*는 감소를 보였다. 또한, 분변의 pH저하도 확인되었으며, 장내에서 laminaran의 활발한 발효가 진행됨을 말해주고 있다. (그림 2, 표 2). 그러나 alginic acid를 먹인 경우는 이와같은 변동은 없었다.

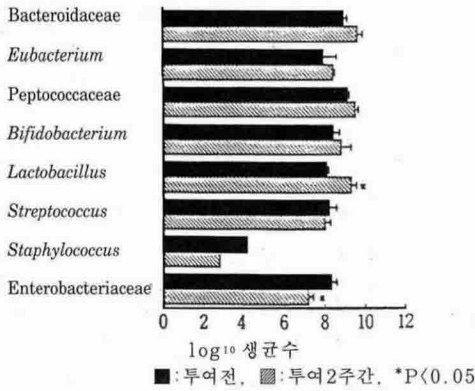


그림 1. Rat의 분변미생물 Flora에 미치는 2% 다시마 식이의 영향

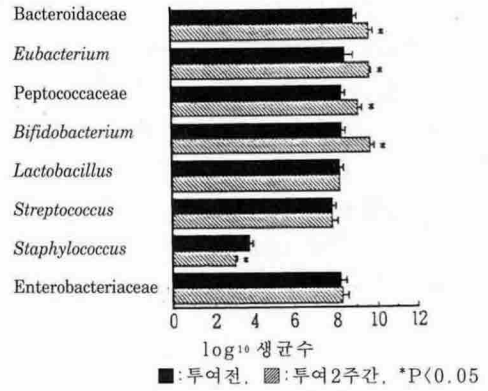


그림 2. Rat의 분변미생물 Flora에 미치는 10% Laminaran 식이의 영향

표 2. 다시마, 방사무늬김 및 여기에 함유된 다당류가 Rat장내환경에 미치는 영향

식 이	미생물 Flora		pH	Ammonia성 질소	분변 중량
	증식한 균군	감소함 균군			
2%다시마	<i>Bacteroidaceae</i> <i>Peptococcaceae</i> <i>Lactobacillus</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>			▲
2%Alginate acid		<i>Peptococcaceae</i> <i>Lactobacillus</i> <i>Streptococcus</i>			▲
10%Laminaran	<i>Bifidobacterium</i> <i>Bacteroidaceae</i> <i>Eubacterium</i> <i>Peptococcaceae</i>		▼		▲
2%방사무늬김		<i>Eubacterium</i> <i>Enterobacteriaceae</i>	▼	▼	▲
0.04%Xylan/ Mannan	<i>Bifidobacterium</i>	<i>Enterobacteriaceae</i> <i>Streptococcus</i>			
0.2%Porphyran		<i>Enterobacteriaceae</i> <i>Streptococcus</i> <i>Peptococcaceae</i>	▼	▼	

▲ : 증가, ▼ : 감소

5.2 홍조류 섭취시의 영향

2%방사무늬김 먹이군에서는 다시마먹이와는 달리 전체적으로 균수의 증가는 없었으나 *Bifidobacterium*이나 *Lactobacillus* 등의 유산균에 비하여 다른 균군이 감소하고(그림 3), 다시마 먹이와 같이 *Bifidobacterium* 점유율(전체의 미생물에 대한 *Bifidobacterium* 균수)이 증가하며(그림 4), 장내 flora의 balance는 개선되었다.

또한, 섭취기간 중의 장내 pH저하 및 ammonia의 감소가 보였으며, 장내환경도 개선되었음을 시사하고 있다.

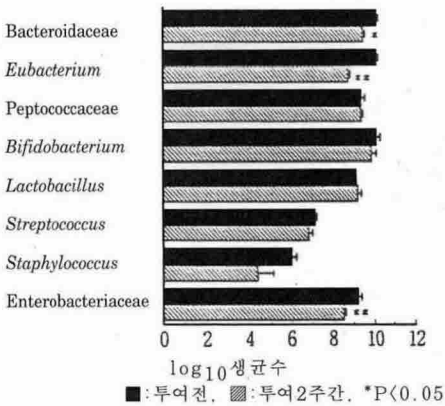


그림 3. Rat의 맹장내 미생물 Flora에 미치는 2% 방사무늬김 식이의 영향

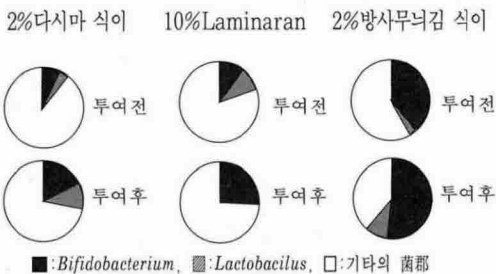


그림 4. 장내 Flora에 대한 Bifidus균 점유율

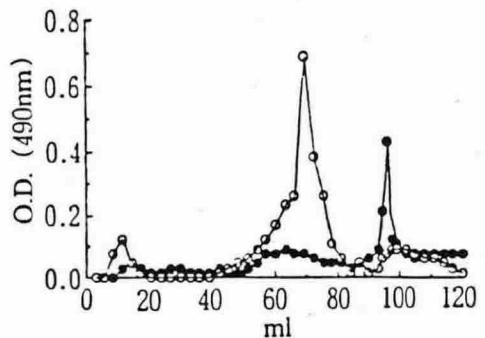
홍조다당류의 xylan/mannan을 섭취할 경우, *Bifidobacterium*이 현저히 증가하고, 실험관내의 실험의 결과와 일치하였다(표 2). porphyran섭취에서는 균군의 증가는 없었으나 *Enterobacteriaceae*의 감소를 보였고, 방사무늬김 섭취와 같이 장내의 pH저하 및 ammonia의 감소를 보였다(표 2)

6. Laminaran의 이용과 관련된 장내균류의 상호작용

장내에서는 장내균류가 서로 복잡한 영향을 주고 있는 것으로 생각된다. 예를들면 *Bifidobacterium*의 균수와 식중독균인 Wechii균(*Clostridium perfringens*)의 검출율이 부의 상관을 나타내거나 *Bifidobacterium*의 유산의 생성에 위해, 유산균인 *V. ellonella*가 증식한 것으로 보고되었다.¹⁴⁾

앞에서 설명된 rat에 다시마나 laminaran을 투여한 실험에서, laminaran의 분해력을 가지고 있지않은 *Bifidobacterium*이 증가하는 원인에 대해서는 다른 균류에 의한 영향, 즉 *Bifidobacterium*이 이용할 수 있는 소당(oligo당)류가 장내에 살고있는 laminaran분해균에 의해 생성된 것으로 보고있다.

이와같은 현상을 확인하기 위해 laminaran을



●: 12시간 배양액, ○: 24시간 배양액
당류분해시험용배지에 0.5%laminaran을 첨가하여 배양하던 12시간후에 삼당, 24시간후에 단당 및 이당이 된다.

그림 5. *Clostridium ramosum*에 의한 Laminaran 분해에 의한 소당류의 활성탄액체 Chromatography

첨가한 당분해용 시험배지에 장내상주균의 일종인 laminaran분해력을 갖는 *Clostridium ramosum*을 접종, 경시적으로 배양액을 회수하여, 배양액중의 소당류의 생성을 조사하였다.¹⁵⁾ 그결과, 배양 12시간 후에 삼당류가, 배양 24시간 후에는 단당

및 이당류가 검출되었다. (그림 5)

이러한 laminaran 유래의 분해물은 예상했던 대로 *Bifidobacterium*속을 중심으로, laminaran을 이용할 수 없는 수종의 혐기성 균종에 이용될 수가 있음을 말해주고 있다(표 3)

표 3. *Clostridium ramosum*에 의한 laminaran분해물의 장내균에 의한 이용시험

균 종 명	<i>Clostridium ramosum</i> 의 배양시간			
	0 hr	6 hr	12 hr	24 hr
<i>Bacteroides vulgatus</i>	-	-	-	-
<i>Bacteroides distasonis</i>	-	-	+	+
<i>Clostridium innocuum</i>	-	-	-	++
<i>Eubacterium aerofaciens</i>	-	-	-	+
<i>Peptostreptococcus productus</i>	-	w	++	++
<i>Bifidobacterium bifidum</i>	-	-	+	++
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	-	w	+	++
<i>Bifidobacterium longum</i>	-	-	-	-
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	-
<i>Enterococcus faecium</i>	-	-	+	++
<i>Enterococcus faecalis</i>	-	-	w	+

+ : 이용력 양성, ++ : 이용력이 강함, w : 이용력이 약함, - : 이용력 음성

Laminaran은 β -1, 3결합glucan으로, 그의 분해물인 D-glucose로 구성된 이당류나 삼당류는 *Bifidobacterium*에 이용이 용이한 상태라고 생각된다.

한편, alginic acid는 구성성분이 mannuronic acid나 glucuronic로, alginic acid의 분해균 이외의 세균에 의해서는 이용이 어려운 것으로 보고 있다.

이점에서 장내 flora를 개선할 수 있는 식이섬유와 개선할 수 없는 식이섬유가 다를 수 있다.

7. 맺음말

식이섬유의 섭취가 장내 flora에 좋은 영향을 준다고 알려진 것은 비교적 오래되었으나, 그의 영향

은 실제적으로 식이섬유의 종류에 따라 다르므로, 한마디로 모든 식이섬유가 장내 flora를 개선시킬 수가 있다고 말할 수는 없다.

앞에서 설명한 여러가지 실험결과로부터 유추하여보면, *Bifidobacterium*에 직접 이용되거나 간접적으로 이용되어 얻어진 당단위에서 구성된 다당류가 장내flora의 balance를 조정하는 것으로 볼 수가 있다.

그렇지만, 장내균에 의한 분해를 받기 어려운 alginic acid는 배변을 촉진시킨다고 하는, 소위 식이섬유의 특징적인 유효성을 가지고 있는 것으로 생각된다.

앞에서 설명한 바와 같이, 해조류의 섭취는 복부의 협쾌감을 주고, 장내환경의 개선은 여러 가지 기능을 갖는 수많은 식이섬유의 상승적인 작용에 의해서 효과가 나타난 것으로 본다.

금후도 많은 연구자들에 의하여, 해조성분의 기 능이 밝혀지고 있으나, 보다 다각적인 방면에서 해 조의 매력이 알려지고 있음으로 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. 西澤一俊 : 海藻學入門, 講談社, 東京, 1989, pp.55-92.
2. 前田昌徹, 西澤一俊 : 海藻多糖類, 「綜合多糖類科學」(原田篤也, 三島 旭 編), 講談社, 東京, 1974, pp.289-348.
3. 西澤一俊 : 海藻の生理活性物質(1), 食品と開發, 24, 54-59.
4. 野田廣行 : 保健食品としての海藻, 「水産食品と海藻」(鴻巢章二 編), 恒星社厚生閣, 東京, 1984, pp. 114-128.
5. 光岡知足 : 「腸内菌の世界」, 叢文社, 東京, 1980., pp313-41.
6. 印南 敏, 池上幸江 : 食物纖維の腸管内における消化と代謝, 「食物纖維」(印南 敏, 桐山修 八編), 日本營養士會, 東京, 1989, pp.224-241.
7. 光岡知足 : 「腸内細菌の話」, 岩波書店, 東京, 1991, pp.115-207.
8. 早川邦彦 : 食品への應用, 「腸内細菌學」(光岡知足 編), 朝倉書店, 東京, 1990, pp. 439-453.
9. 光岡知足 : 腸内細菌と食物纖維, 「食物纖維」(印南 敏, 桐山修八 編), 日本營養士會, 1989, pp.242-270, 東京.
10. 藤井建夫, 久田 孝, 佐伯和昭, 奥積昌世 : 褐藻類中水溶性多糖類のヒト腸内菌による *in vitro* での發酵, 日水誌, 58, 147-152 (1992).
11. 河津大輔, 田中みさ子, 藤井建夫 : ササビノリ多糖類の腸内フローラに及ぼす影響, 日水誌, 61, 59-56 (1995).
12. 久田 孝, 藤井建夫, 佐伯知詔, 長谷川綾, 奥積昌世 : 褐藻類のラット糞腸フローラに及ぼす影響, 日水誌, 58, 307-314(1992).
13. 河津大輔, 藤井建夫, 大島直子, 奥積昌世 : ササビノリのラット盲腸フローラに反ぼす影響, 日水誌, 60, 111-115 (1994).
14. H. Hidaka, T. Eida, T. Takizawa, T. Tokuzawa and Y. Tashiro : Effect of fructooligo-saccharides on intestinal flora and human health. *Bifidobacteria, microflora* 5, 37-50 (1996).
15. T. Kuda, T. Fujii, A. Hasegawa, and M. Okuzumi : Effect of degraded products of laminaran by *Clostridium ramoum* on the growth of intestinal bacteria. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1307-1311 (1992).