

미역 및 다시마로부터 마이크로파 전처리와 열수로 추출된 알긴산의 물리적 특성

조순영¹ · 주동식 · 김옥선 · 정인학 · 김상무*
강릉대학교 동해안해양생물자원연구소, *강릉대학교 해양생명공학부

Preparation of Water Soluble Alginic Acid Prepared from Sea mustard and Sea tangle by Microwave and Hot Water

¹Soon-Yeong CHO, Dong-Sik JOO, Ok-Seon KIM, In-Hak JEONG and Sang-Moo KIM
East coastal Marine Bioresources Research Center, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea
(E-mail : csygang@knusun.kangnung.ac.kr) *Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung 210-702, Korea

The process of alginate preparation was shortened with microwave pretreatment and hot water extraction without any other treatment. The yield of extracted alginate was very different according to raw material and microwave treatment conditions. The yield of extracted alginate from sea mustard was higher than sea tangle and increased with the temperature rise and time of microwave treatment. Optimum extraction conditions by microwave treatment were 90 min at 100°C for the sea mustard and 120 min at 100°C for the sea tangle. On the other hand, the solubility of the alginate from sea mustard was 69%~80% and the viscosity were 8.7~1.5 cps, respectively. The solubility and the viscosity of the sea tangle alginate was higher than the sea mustard to 77~84% and in the range of 8.9~1.8 cps, respectively. The extraction temperature by hot water greatly influenced on the yield of alginate, but the solubility and viscosity was not affected by the hot water extraction. The molecular weight of alginate obtained through the extraction by Na₂CO₃ solution and the microwave pretreatment was 800 kDa, and in the range of 12~45 kDa, respectively.

Key words: sea mustard, sea tangle, microwave, solubility, viscosity, molecular weight

서 론

갈조류에 함유된 다당류의 대부분은 알긴산으로 전체 다당의 40~80%에 달하며, D-mannuronic acid와 L-guluronic acid가 α 또는 β-1,4 결합한 복합당질로 주된 세포벽 성분이다 (Hirst et al., 1964; Haug et al., 1966). 이러한 알긴산은 구조에서 유래하는 독특한 물성으로 인해 오래전부터 식품이나 공업용의 첨가물로 다양하게 이용되어 왔으며 (Byrom, 1991; Oota, 1987), 반면 최근에는 알긴산의 용도를 더욱 개발하기 위한 연구도 간헐적으로 이루어지고 있는 실정이다 (Kaneko et al., 1990; Joo et al., 1995). 또한, 다당류의 기능성에 대한 연구도 국내외에서 활발하게 행해지고 있다 (De Clercp, 1993; Koo et al., 1995; Fujihara and Nagumo, 1993a; Fujihara and Nagumo, 1992b).

한편, 알긴산은 탄산나트륨이나 수산화나트륨 등의 알칼리성 용액에서 쉽게 용해되기 때문에 알칼리 조건하에서 추출·제조되는데, 대개 나트륨형 알긴산으로 분자량은 수십만에서 수백만으로 매우 다양하며, 대체적으로 강한 점성을 가진다. 또한, 알긴산 나트륨은 상온에서 용해시키기에는 많은 시간이 소요되며, 알칼리 용액에서는 침전하는 특성이 있고, 고농도로 사용할 경우 액상식품 특유의 물성을 소실케하는 등의 이유로 사용에 제한을 받고 있다 (Kaneko et al., 1990; Takeuchi et al., 1994). 이러한 단점을 해결하기 위해 효소적 처리를 통한 저점도 알긴산의 제조도 이루어진 바 있으나 (Joo et al., 1995), 알긴산에 효소적 처리를 한다면

비용이나 후처리 등의 문제점이 있다. 한편, 기존의 탄산나트륨을 이용한 추출방법은 과정이 매우 복잡하고 소요 시간도 매우 길기 때문에 공정을 개선할 필요성이 있으며, 추출과정에서 특정 형태의 저점도 알긴산을 원하는 형태로 만들 수 있다면 알긴산의 용도를 더욱 확대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 기존의 탄산나트륨을 이용한 추출방법으로부터 제조된 알긴산의 고점성, 알콜성 용매에 침전하는 특성 등을 극복하고, 다양한 점성과 분자량을 가지는 냉수 가용성 알긴산을 제조하기 위해 마이크로파 전처리 및 열수 추출의 간단한 공정으로 미역과 다시마로부터 저점도 및 저분자 알긴산 제조를 시도하였다.

재료 및 방법

재 료

알긴산 추출 시료로는 강원도 주문진에서 채취하여 건조한 미역 (sea mustard, *Undaria pinnatifida*)과 다시마 (sea tangle, *Laminaria japonica*)를 구입한 후 분쇄기 (turbo mill)로써 80 mesh 정도로 분쇄하여 실험에 사용하였다.

방 법

1. 알긴산 추출

기존의 화학적인 추출 방법은 Nishide et al. (1988)의 방법을

¹Corresponding author

준용한 것으로 즉, 시료 20 g에 0.1% H₂SO₄ 500 ml을 가하여 pH 3.5~4.0으로 한 다음 상온에서 1시간 정지한 후 수세하고, 0.15% Na₂CO₃ 500 ml를 가하여 pH를 9.8~10.2로 조절한 후 60°C에서 4시간 교반하여 알긴산을 추출한다. 추출조에 5배량의 물을 가하여 희석하고 celite를 일정량 넣고 여과한 다음, 5% H₂SO₄로 pH를 1.4~1.5로 조절하고 동량의 메탄올을 가하여 알긴산을 침전시켜 회수하고, 중성이 될 때까지 수세한 다음 메탄올로 재수세하여 40°C에서 12시간 건조시켰다.

마이크로파 전처리 열수 추출은 분말 원조 2g에 증류수 80 ml를 가하고 마이크로파 분해장치 (MDS 2000, CEM Co., USA)를 이용하여 처리온도와 처리시간을 변화시키면서 처리하였다. 마이크로파 전처리 원료에 증류수 220 ml를 가한 후, 일정온도 및 시간 동안 열수추출을 행하고 여과한 다음 메탄올을 동량 가하여 침전, 여과 및 열풍건조 (40°C, 12hr)하여 알긴산을 제조하였다.

2. 수율, 용해도 및 점도

수율은 시료 건조 중량에 대한 추출 알긴산의 건조중량을 백분율로 계산하였다. 용해도는 증류수 20 ml에 0.2 g (1% 농도)의 추출 알긴산 시료를 가하여 일정시간 상온 (25°C, 2 hr)에서 방치한 후 30초간 교반한 다음, 원심분리 (3000 rpm, 5 min)하여 상층액의 전당 함량을 phenol-sulfuric acid 법 (Dubois et al, 1956)으로 측정된 것을 처음 취한 시료 1% 농도에 대한 백분비로 환산하여 계산하였다. 점도는 회전점도계 (Brookfield DV-II%VISCOMETER, Sp.No.40)를 이용하여 25°C, 회전속도 1.5 rpm에서 측정하였다.

3. 분자량 측정

각각의 방법으로 추출된 알긴산의 분자량은 Sepharose CL-6B 및 Sepharose CL-4B gel chromatography (칼럼: 1.5×100 cm)에 의하여 Fujihara and Nagumo (1989)의 방법으로 측정하였으며, 시료는 200 mg을 0.2 M NaCl 용액에 용해하여 주입하고 용리하였다. 분자량 계산을 위한 표준물질은 Pullulan standard (M.W. 5000~1,660,000, Showa Denko K.K.Co., Japan)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 원료의 일반성분 및 탄산나트륨 처리 알긴산 추출

원료 (건조미역 및 다시마)의 일반 성분은 수분 13.1~14.3%, 회분 9.2~11.2%, 지질 1.8~2.1% 및 단백질 16.5~18.9%이었고, 알긴산을 포함하는 당질 (crude carbohydrate)은 55~60% 였다. 탄산 나트륨을 이용한 기존의 추출 방법에 의한 알긴산 추출 수율은 분말 원료를 사용했을 경우, 미역이 약 21%였으며, 다시마는 이보다 다소 낮은 19% 정도였는데 (Table 1), 추출 과정의 차이가 원인인지는 분명하지 않지만, Lee 등 (1998)이 보고한 추출 수율 30~45%에 비해 전반적으로 낮은 수율을 나타내었다.

일반적인 알긴산 추출공정의 하나인 황산 전처리 과정에 관계 없이 수율에는 별 차이가 없었으며, 분말 시료는 처리과정 중에 분말의 일부가 소실되면서 발생하는 미미한 수율의 감소는 감지되었으나 큰 차이는 아니었다. 한편, 미역과 다시마의 추출 시료 형태에 따른 알긴산 추출 수율을 비교해 보면, 시료 모두 세절한

Table 1. Yield, solubility, and viscosity of alginates prepared from sea mustard and sea tangle treated with Na₂CO₃

Property	Sea mustard		Sea tangle	
	A ¹	B	A	B
Yield (%)	16.8 ± 1.1 ²	21.8 ± 1.6	17.2 ± 0.4	19.3 ± 0.4
Solubility (%)	74.1	75.6	71.2	70.9
Viscosity (cP)	47.7	50.5	82.7	87.1

¹Sample type: A-flake (1×1 cm), B-powder (80 mesh)

²Mean ± S.D. (n=3)

시료보다는 분쇄한 시료가 2~4% 정도의 높은 수율을 보였다. 추출한 알긴산의 용해도는 미역과 다시마 사이에는 큰 차이가 없었으나, 점도는 다시마에서 추출한 알긴산이 다소 높았다. 용해도와 점도는 어떤 상관성을 가지는 것으로 보이는데, 용해도가 높으면 점도가 낮은 경향을 나타내어 원료에서 기인하는 분자 크기나 수가 용성 알긴산의 함량에 그 원인이 있는 것으로 판단된다 (Lee et al., 1998).

2. 마이크로파 전처리 조건에 따른 알긴산 추출

마이크로파 전처리에 의한 알긴산 추출과정을 간단히 살펴보면, 분말 원조 2g을 마이크로파 분해 장치 시료 용기에 취하고 여기에 80 ml의 증류수를 가하여 분말 해조가 충분히 수분을 흡수할 수 있도록 상온에서 30분간 방치하였다. 다음으로 80~100°C까지 처리 온도 조건을 달리하면서 60~120분간 마이크로파 (530 watts) 처리를 행한 후, 220 ml의 증류수를 첨가하고 추출 온도 조건 (60~95°C)을 달리하면서 교반추출을 행하였다. 추출액을 원심분리 (8,000 rpm, 10 min)한 다음 상층액에 대해 동일량의 메틸알콜을 첨가하여 알긴산을 침전시키고 침전물을 열풍건조기 (40°C)에서 건조한 후 분쇄하여 분말 알긴산으로 하였다. 마이크로파 전처리 조건에 따른 수율, 용해도 및 점도 등을 Table 2에 나타내었다. 마이크로파 처리 온도에 따라 추출 수율에서 큰 차이를 보여주고 있는데, 이는 마이크로파 자체가 비전리 방사선으로 피조사체를 이온화시키지 않으면서 온도 상승효과만을 가져오는 전자파 에너지로 물질 내부의 가열이 가능한 열원 (Pare et al, 1994)으로 작용하기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 마이크로파의 작용은 온도와 관련성이 있는 것으로 온도가 높아짐에 따라 해조의 구조 파괴가 촉진되고 추출과정 중에 용이하게 추출되는 것으로 추정할 수 있었다.

그리고 미역과 다시마 시료간에도 약간의 차이를 보여주고 있는데, 이는 원료 중의 알긴산의 존재형태가 그러한 차이를 가져오는 한 요소인 것으로 여겨지며, 다시마의 경우 알긴산 추출과정 중 다른 형태의 다당과 강한 결합으로 발생하는 엉킴 현상 때문에 오히려 알긴산 수율이 전반적으로 감소하는 것으로 판단되었다. 처리 시간에 따른 차이도 어느 정도 있는 것으로 확인되었는데, 미역을 원료로 한 경우 처리시간 90분 이후로는 처리 시간에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 다시마의 경우는 처리시간 120분까지 서서히 증가하는 경향을 보였다. Table 2의 수율에 대한 결과로부터 미역 및 다시마의 마이크로파 전처리 조건은 각각 100°C에서 90 min, 100°C에서 120 min이 최적인 것으로 판단되었다. 한편, 마이크로파 처리 온도와 처리 시간, 그리고 원료에 따른

Table 2. Yield, solubility, and viscosity of alginate extracted according to microwave digestion pretreatment conditions

Sample	Property	Microwave digest condition							
		80 ¹				100			
		A ²	B	C	D	A	B	C	D
Sea mustard	Yield (%)	10.2 ± 2.0 ³	11.5 ± 2.5	11.2 ± 2.3	12.8 ± 2.1	15.2 ± 1.8	16.2 ± 1.6	17.0 ± 2.1	15.0 ± 1.2
	Solubility (%)	67.1	65.5	63.4	69.0	75.2	79.2	85.0	85.9
	Viscosity (cP)	10.4	8.1	9.9	8.7	1.8	1.8	2.2	1.5
Sea tangle	Yield (%)	8.4 ± 1.8	8.1 ± 1.3	9.1 ± 1.2	10.4 ± 1.2	10.9 ± 1.2	11.3 ± 1.1	12.1 ± 1.4	12.9 ± 1.6
	Solubility (%)	71.9	72.2	76.0	77.2	85.4	87.6	91.0	94.0
	Viscosity (cP)	8.0	9.3	8.8	8.9	2.4	1.2	2.6	1.8

Extraction condition of alginate: hot water extraction at 95°C for 60 min.

¹Temperature (°C) of microwave treatment.

²Time (min) of microwave treatment (min): A, 30; B, 60; C, 90; D, 120.

³Mean ± S.D. (n=3)

Table 3. Yield, solubility, and viscosity of alginate extracted according to hot water extracting conditions after microwave treatment

Sample	Property	Extract condition					
		60 ¹		80		95	
		A ²	B	A	B	A	B
Sea mustard	Yield (%)	8.9 ± 1.4 ³	11.1 ± 1.8	12.1 ± 1.9	13.0 ± 1.9	16.2 ± 1.4	17.0 ± 2.1
	Solubility (%)	78.1	85.0	82.9	84.2	85.5	85.0
	Viscosity (cP)	5.7	3.0	2.6	2.3	2.9	2.2
Sea tangle	Yield (%)	9.5 ± 1.8	9.1 ± 2.1	8.9 ± 1.7	10.8 ± 1.2	11.2 ± 1.8	12.9 ± 1.6
	Solubility (%)	84.6	87.7	90.7	92.0	93.9	94.0
	Viscosity (cP)	5.9	6.2	4.0	4.2	2.3	1.8

Condition of microwave treatment: sea mustard; 100°C, 90 min.; sea tangle; 100°C, 120 min.

¹Extraction temperature (°C)

²Extraction time (min): A, 30; B, 60

³Mean ± S.D. (n=3)

용해도 및 점도 특성을 살펴보면, 마이크로파 처리 온도에 따른 용해도와 점도는 큰 차이를 보여주고 있는데, 80°C 처리 온도에서는 미역의 경우 용해도가 최대 69%, 100°C에서는 86% 정도인 반면, 다시마의 경우는 미역보다는 전체적으로 다소 높은 77~94%였다. 시료간의 차이는 그 이유를 추정하기가 어려웠지만, 처리 온도에 따른 용해도와 점도는 밀접한 상관성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 즉, 용해도가 높을수록 점도는 낮은 경향을 보여주고 있는데, 해조 다량의 점도는 일반적으로 당질의 크기와 직접 관련이 있는 요소이기 때문에 용해도가 높은 것은 분자가 작은 것으로, 용해도가 낮은 것은 분자가 큰 것으로 판단되었다. 점도는 기존의 탄산 나트륨으로 제조한 알긴산과는 현격한 차이가 있었다.

3. 알긴산의 추출 조건

마이크로파로 전처리한 시료를 적절한 추출조건에서 처리하여 알긴산을 추출하게 되는데, 추출 조건에 따른 알긴산 수율, 용해도 및 점도 특성을 확인한 결과는 Table 3과 같다.

열수 추출 온도가 알긴산의 추출에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났는데, 특히 다시마보다 미역에서 크다는 것을 알 수 있으며, 추출 시간을 길게 할수록 추출 수율이 증대함을 알 수 있다. 다시마의 경우도 추출 온도가 알긴산 추출 수율에 영향을 주는 것으로 확인되었으며 추출 시간이 경과함에 따라 수율이 증대되고 있으나, 미역에 비해 그 폭은 작았다. 한편, 미역의 경우 추출되는

온도가 높아짐에 따라 용해도는 추출 온도 60°C를 제외하고는 큰 변화가 없었다. 이는 일단 마이크로파 전처리후의 추출 처리 조건이 추출 수율에는 어느 정도 영향을 미치지 않지만 추출되는 알긴산의 물리적 성상에는 큰 영향을 주지 않는다는 사실을 나타내며, 실제 물리적 성상이 다른 알긴산의 제조는 추출 조건에서보다는 마이크로파 전처리 공정에서 결정이 된다는 것을 확인하였다. 점도에 있어서도 80°C나 100°C 추출 온도에 큰 차이가 없는 것으로 보아 용해도의 경향을 뒷받침해 주는 것으로 판단되었다. 다시마 원료의 경우도 미역과는 약간의 차이는 있지만, 추출 조건이 용해도나 점도에 절대적인 영향을 주는 요소가 아니라는 사실을 알 수 있었다. 알긴산의 추출은 원료에 따른 차이는 어느 정도 있지만, 추출된 알긴산의 용해도와 점도같은 물리적 성질에는 마이크로파 전처리 공정이 중요한 요소로 작용하며, 열수 추출 조건은 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다. 위에서 얻어진 결과는 알긴산 추출 수율의 측면에서는 가능한 고온의 열수 처리 조건(95°C)이 좋다는 것과 특정의 물리적 성상을 갖는 알긴산 제조는 마이크로파 전처리 조건을 적절하게 조절함으로써 목적을 달성할 수 있다는 중요한 사실을 확인하였다.

4. 추출된 알긴산의 분자량

마이크로파 전처리 및 열수 추출 방법, 기존의 탄산나트륨 추출 방법과 마이크로파 전처리와 유사한 제조 방법으로 제조한 초음

파 전처리 및 열수 추출, 고온가압 전처리 및 열수 추출 방법 등으로 제조한 알긴산과 시판제품 분자량을 측정된 결과는 Table 4와 같다.

시판되고 있는 알긴산의 경우, 제품 종류에 따라 차이는 있지만 대개 분자량이 100만 이상인 것으로 알려져 있고, 본 연구에서도 기존의 탄산나트륨을 이용한 추출법으로 제조된 알긴산의 분자량이 80만을 넘는 것으로 측정되었다. 한편, Table 4에서 비교한 초음파 전처리한 알긴산과 고온가압 전처리한 알긴산의 경우, 원료에 따라서는 차이가 있었지만 각각 180,000~380,000, 40,000~110,000 정도의 분자량 분포를 나타낸 반면, 본 논문의 마이크로파 전처리 및 열수 추출한 알긴산의 경우는 분자량이 이들 물리적 처리 조건의 경우보다도 훨씬 작은 12,000~45,000 정도였다. 이러한 분자량과 앞에서 고찰한 용해도와 점도를 기존의 방법으로 제조한 알긴산과 비교해 보면, 분자량의 크기와 점도가 직접적인 상관이 있음을 알 수 있고, 용해도는 나트륨의 유무와 관련지어 설명이 될 수 있다. 이러한 결과는 전혀 예상하지 못했던 결과로서 매우 중요한 몇가지 의미를 갖는데, 그 중 몇가지를 정리해보면, 첫째로 탄산 나트륨을 이용한 공정이 매우 복잡한 반면, 본 연구의 공정은 매우 간단하게 알긴산을 제조할 수 있다는 점, 둘째로 저분자이면서 용해성이 높고 저점도인 알긴산을 제조할 수 있다는 점, 셋째로 본 연구에서 제조한 알긴산은 나트륨(sodium)이 붙어 있지 않다는 점이다. 일반적으로 알긴산 나트륨은 알긴산에 나트륨이 붙어 있지 않을 경우 용해성이 없기 때문에 나트륨을 붙여 용해성을 유도한 제품인데, 이용의 측면에서 실제 나트륨의 첨가가 바람직하지 않은 경우에는 사용이 곤란했다는 점에서 본 연구의 물리적 전처리에 의한 저점성 알긴산은 그 용도의 측면에서도 중요한 의미를 갖는다. 따라서 향후 본 연구에서 제조된 알긴산의 물성 특성을 계속적으로 실험하므로써 적극적인 용도 개발에 기여코자 한다.

Table 4. Molecular weight of alginate prepared from sea mustard and sea tangle by various extraction procedures

Sample code	Treatment	Seaweed	M.W. (kDa)
CM	Na ₂ CO ₃ extraction	sea mustard	>800
CT	Na ₂ CO ₃ extraction	sea tangle	>800
AM	autoclaving pretreatment	sea mustard	100~110
AT	autoclaving pretreatment	sea tangle	40~55
MM	microwaving pretreatment	sea mustard	12~14
MT	microwaving pretreatment	sea tangle	40~45
UM	ultrasonication pretreatment	sea mustard	180~200
UT	ultrasonication pretreatment	sea tangle	320~380
MAA	marketing alginate		>1,000

요 약

마이크로파 전처리와 열수 추출방법으로 알긴산을 추출하여 용해성, 점성 및 분자량을 비교·검토하였다. 마이크로파 전처리 온도에 따른 수율은 미역이 다시마 보다 높았고, 온도가 높을수록

더욱 높아지는 경향을 보였다. 미역의 경우 처리 시간 90분 이상에서는 영향을 받지 않았고, 다시마의 경우는 처리 시간 120분까지 서서히 증가하는 경향을 보였다. 수율의 측면에서 미역 및 다시마의 마이크로파 전처리 조건은 100℃에서 90분과 100℃에서 120분이 각각 적절하였다. 마이크로파 처리에 있어서 추출 온도는 용해도와 점도에 영향은 주었는데, 80℃에서는 미역과 다시마의 각각 용해도가 69%, 77%였고, 100℃에서는 86%, 94%였다. 100℃ 마이크로파 전처리 시료의 경우, 원료와 처리 시간에 관계없이 탄산나트륨으로 추출한 알긴산에 비해 5% 이하의 점도를 보였다. 한편, 열수 추출 온도가 알긴산의 추출에 미치는 영향은 다시마보다 미역에서 컸으며, 추출 시간 경과로 수율이 증가하였다. 다시마도 유사한 경향을 보였으나 미역에 비해 그 폭은 작았다. 용해도는 추출 온도 60℃를 제외하고는 추출 온도가 높아져도 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 분자량은 기존의 탄산나트륨을 이용한 추출법으로 제조된 알긴산의 분자량은 80만이 넘는 것으로 확인되었고, 마이크로파 전처리 및 열수 추출한 알긴산의 경우는 분자량이 12,000~45,000 정도로 매우 작았다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강릉대학교 동해안해양생물자원 연구센터와 한국학술진흥재단 (과제번호: KIOS-96-F-20)의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- Byrom, D. 1991. Biomaterials. M. Stockton Press, N.Y. U.S.A. pp. 307~332.
- De Clercp, E. 1993. In "Carbohydrate and Carbohydrate Polymers". Edited by M. Yalpani, 609~613.
- Fujihara, M. and T. Nagumo. 1993a. An influence of the structure of alginate on the chemotactic activity of macrophages and the antitumor activity. Carbohydrate Research, 243, 211~216.
- Fujihara, M. and T. Nagumo. 1992b. The effect of the content of D-mannuronic acid and L-guluronic acid blocks in alginates on antitumor activity. Carbohydrate research, 224, 343~347.
- Fujihara, M. and T. Nagumo. 1989c. Determination of the molecular weights of alginates by agarose gel filtration. J. Chromatography, 465, 386~389.
- Haug, A., B. Larson and O. Smidsrod. 1966. A study of the constitution of alginic acid by partial acid hydrolysis. Acta Chemica Scandinavica, 20, 183~190.
- Hirst, E.L., E. Percival and J.K. Wold. 1964. The structure of alginic acid. Part IV. Partial hydrolysis of the reduced polysaccharide. J. of Chem. Soc., 8, 1493~1499.
- Henglein, A. 1987. Sonochemistry; Historical developments and modern aspects. Ultrasonics, 25, 6~16.
- Joo, D.S., J.S. Lee, S.Y. Cho, S.J. Shin & E.H. Lee. 1995. Changes in functional properties of alginic acid by enzymic degradation. J. Food Sci. Tech., 27, 86~91 (in Korean).
- Kaneko, Y., Y. Yonemoto, K. Okayama, A. Kimura and K. Murata.

1990. Bacterial alginate lyase properties of the enzyme formed in a mixed culture bacterial isolated from soil. *J. of Ferm. & Engineer.*, 70, 147~149.
- Koo, J.G., K.S. Jo, J.R. Do and S.J. Woo. 1995. Isolation and purification of fucoidans from *Laminaria religiosa* and *Undaria pinnatifida* in Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 28, 227 (in Korean).
- Lee, D.S., H.R. Kim, D.M. Cho, T.J. Nam and J.H. Pyeun. 1998. Uronate composition of alginates from the eddible brown algae. *J. Korean Fish. Soc.*, 31 (1), 1~7 (in Korean).
- Nishide, E., Y. Kinoshita, H. Anzai and N. Uchida. 1988. Distribution of hot-water extractable material, water-soluble alginate and alkali-soluble alginate in different parts of *Undaria pinnatifida*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 54, 1619~1622 (in Japanese).
- Oota, T. 1987. Wakame. *New Food Industry*, 29, 33~45 (in Japanese).
- Suzuki, T., K. Nakai, Y. Yoshie, T. Shirai and T. Hirano. 1993. Seasonal variation in the dietary fiber content and molecular weight of soluble dietary fiber in brown alga, *Hijiki*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1633~1966.
- Takeuchi, T., K. Murata and I. Kusakabe. 1994. A method of depolymerization of alginate using the enzyme system of *Flavobacterium multivolum*. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 41, 505~512 (in Japanese).

1999년 9월 9일 접수

1999년 11월 11일 수리