

제단백 Porphyran의 성분 및 유동 특성

구재근* · 박병춘 · 김병기 · 김현애 · 유정희¹ · 김선영¹
 군산대학교 식품생명공학전공, ¹군산대학교 식품영양학과

Chemical Composition and Rheological Properties of Deproteinized Porphyran

Jae-Geun KOO*, Byung-Chun PARK, Byung-Gi KIM, Hyun-Ae KIM,
 Chung-Hee RYU¹ and Sun-Young KIM¹

Department of Food Science and Biotechnology, Kunsan National University,
 Kunsan 573-440, Korea

¹Department of Food and Nutrition, Kunsan National University, Kunsan 573-440, Korea

The chemical and rheological properties of deproteinized porphyrans from laver *Porphyra yezoensis* were investigated to obtain basic data for the production of food materials with biological functionality. Deproteinized porphyran was prepared by acid extraction (pH 4.0, 80°C, 4 hr) and successive hydrolysis with 0.5% Alcalase and 0.5% Flavourzyme. The porphyran constituted 10.7% of the dry laver and consisted of 0.6% protein, 14.8% ester sulfate, 3.2% 6-O-methyl galactose, 16.0% 3,6-anhydro-L-galactose, and 67.3% galactose. The effects of concentration and temperature on the apparent viscosity were examined by applying the power law and Arrhenius equations. The porphyran solution showed the typical behavior of a pseudoplastic liquid and the flow behavior index decreased with increasing concentration. The activation energy of the deproteinized porphyran solution at a 1,000 L/s shear rate also increased from 1.4954×10^4 to 1.9544×10^4 J/kg mol with the concentration.

Key words: Deproteinized porphyran, Flow properties, *Porphyra yezoensis*

서 론

김 (*Porphyra* spp.)은 국내 연안에서 생산되고 있는 해조류 중 미역과 더불어 생산 금액 및 생산량 측면에서 가장 중요한 해조류 중 하나이다. 생산된 김의 대부분은 마른 김 또는 조미 김으로 가공되어 국내에서 소비되거나 수출되어 어민들의 주요 소득원이 되어왔다. 그러나 최근 양식 및 가공 기술 발달로 인해 마른 김 및 조미 김의 생산량은 증가되고 있으나 국내 김 소비 및 수출량이 정체 혹은 감소되고 있어 매년 과잉 생산이 되풀이되고 있는 실정이다. 따라서 김 소비 증가를 위한 새로운 김 가공 식품의 개발이 필요하다.

김의 주요 구성 성분은 건물 기준으로 약 40% 정도 함유되어 있는 단백질과 25% 정도 함유되어 있는 탄수화물이다. 김에 함유되어 있는 탄수화물 중 포피란 (porphyran)은 김의 세포 사이에 존재하는 산성 수용성 다당으로 건조 김의 10% 내외로 함유되어 있다. 포피란의 구성당 조성은 3,6-anhydro-L-galactose, 6-O-methyl-D-galactose, D,L-galactose 및 ester sulfate로 한천의 조성 과 매우 유사하나 황산기와 methoxy기의 함량의 차이가 있다 (Peat et al., 1961; Su and Hassid, 1962). 최근 수용성 산성 다당인 포피란은 항중양 활성 (Noda et al., 1989a; 1989b), 항산화 활성 (Zhang et al., 2004) 등 우수한 생리활성이 밝혀짐에 따라 기능성 식이섬유 소재로서의 이용

가능성이 매우 높다.

대부분의 고분자 수용성 다당의 생리적 기능성은 화학적 특성 뿐 아니라 물성적 특성과도 밀접한 상관성이 있다 (Zhang et al., 2004). 특히 포피란의 경우는 김에 다량의 단백질이 함유되어 있어 김을 열수 추출한 조포피란에도 10% 정도의 다량의 단백질이 함유되어 있어 단백질의 함량에 따라 물성 및 기능성 식이 섬유로서의 활성의 변화가 예상된다. 따라서 포피란을 기능성 식품 소재로 개발하기 위해서는 우선 단백질을 제거하기 위한 효율적인 제단백 포피란 제조 방법 개발 및 제단백된 포피란 용액의 물성적 특성 조사가 필요하다.

본 연구에서는 포피란을 이용한 기능성 식품 소재를 개발하기 위한 기초 자료를 얻기 위해 우선 산 및 단백 분해 효소를 이용하여 효율적으로 제단백 포피란을 제조하고 제단백된 포피란의 화학적 및 물성적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

재 료

실험에 사용한 방사무늬김 *Porphyra yezoensis*는 2006년 3월에 전라북도 소재의 신시도의 양식장에서 채취하여 사용하였다. 채취한 김은 물김 상태로 실험실에 운반한 후 담수로 수세하였다. 50°C로 열풍건조한 뒤 분쇄하여 불투명용기에 밀봉하여 두고 실험에 사용하였다. 일반 조성은 수분 11%, 단백질 41.1%, 회분 20.9%, 탄수화물 27.0%였다.

*Corresponding author: kseaweed@kunsan.ac.kr

제단백 포피란 제조

제단백 포피란은 Fig. 1의 방법에 따라 제조하였다. 즉, 건조, 분쇄한 김에 50배 (v/w)의 증류수를 넣고 pH를 약산성 (pH 4.0)으로 조절한 처리구와 pH를 조절하지 않은 처리구로 나누어 각각 추출, 여과, 농축하였다. 농축액에 3배 (v/v)량의 에탄올을 첨가하여 하룻밤 방치한 후 원심분리 (4,000 g×15 min)한 후 침전물을 건조하여 조포피란 (I, II)을 제조하였다. 조포피란 용액에 0.5% Alcalase (v/w)를 넣고 50°C에서 4시간 동안 가수 분해하여 Alcalase 처리 포피란 (I-1, II-1)을 제조하였다. Flavozyme 처리는 Alcalase로 처리한 포피란 용액에 0.5% Flavozyme (v/w)을 넣고 50°C에서 4시간 동안 가수 분해하여 제조하였다 (I-2, II-2).

일반성분 및 화학조성분석

포피란의 일반성분조성은 AOAC법 (1990)에 따라 수분함량은 105°C 상압건조법, 조단백질은 kjeldahl법, 조회분은 550°C 건식회화법으로 분석하였다. 총당은 페놀-황산법 (Dubois et al., 1956), 황산기는 Dodgson and Price (1962)의 방법, 우론산은 Knutson and Jeanes (1968)의 방법에 따라 측정하였다.

포피란의 구성당 조성은 Furneaux et al. (1990)의 방법

에 따라 내부 표준물질 (myo-inositol)과 표준시약 (rhamnose, fucose, arabinose, ribose, galactose, 6-O-methyl-D-galactose, 3,6-anhydro galactose, D-xylose, D-mannose, D-glucose)을 시료와 동일하게 acetylation 시켜 농도별 상대 면적비를 구하여 측정하였다. 각 peak의 동정은 표준시약과 retention time을 비교하여 확인하였다.

점도 및 유동특성 조사

포피란 용액 (1%, 3%, 5%, 7%)을 점도계 (HAAKE Rotovisco 1, Germany)를 이용하였다. Sensor는 PP60Ti (Radius 30 mm, Gap 1 mm)를 사용하였고 전단속도를 0-1,000 1/s, 측정온도를 15°C, 25°C, 35°C, 45°C, 60°C까지 변화시키면서 겔보기 점도를 측정하였다.

유동특성값은 아래의 power law model을 사용하여 점조도 지수와 유동지수를 계산하였다 (Rao and Anantheswaran, 1982).

$$\tau = k\gamma^n$$

τ : 전단응력 (Shear stress, Pa)

γ : 전단속도 (Shear rate, 1/s)

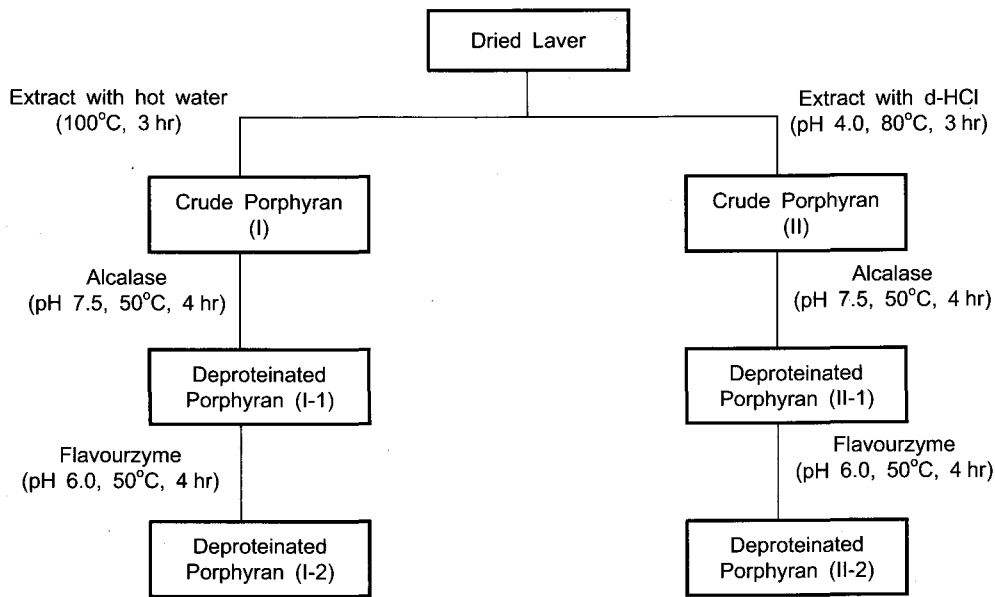


Fig. 1. Flowchart for the preparation of deproteinated porphyrans from laver *Porphyra yezoensis*.

Table 1. Yield and proximate composition of laver porphyrans¹ (%)

Sample ²	Yield	Protein	Moisture	Ash	Carbohydrate ³
Laver	100.0	41.1 ± 0.5	11.0 ± 0.5	20.9 ± 0.3	27.0 ± 0.1
I	14.7	10.6 ± 0.3	9.0 ± 0.2	12.5 ± 0.1	67.9 ± 0.1
I-1	13.8	3.5 ± 0.1	9.2 ± 0.3	10.3 ± 0.1	77.0 ± 0.2
I-2	12.7	1.3 ± 0.2	9.0 ± 0.9	11.0 ± 0.4	78.7 ± 0.4
II	12.5	2.4 ± 0.1	9.3 ± 0.6	10.4 ± 0.2	77.9 ± 0.2
II-1	11.3	0.8 ± 0.2	9.3 ± 1.0	9.5 ± 0.1	80.4 ± 0.5
II-2	10.7	0.6 ± 0.2	8.8 ± 0.9	9.5 ± 0.1	81.1 ± 0.5

¹Mean ± SD; ²Refer to Fig. 1; ³100-(protein + ash + moisture).

Table 2. Sulfate and sugar compositions of porphyrans¹

(%)

Sample ²	Total sugar	Sulfate	Uronic acid	Sugar composition				
				3,6-AG ³	6-Me-Gal ⁴	Ram	Gal	Glu
I	72.4 ± 1.5	12.3 ± 0.3	10.2 ± 0.7	9.9 ± 1.2	2.1 ± 0.2	-	40.1 ± 3.3	6.4 ± 1.3
I-1	75.5 ± 2.0	13.7 ± 0.4	11.6 ± 1.6	12.2 ± 1.1	2.3 ± 0.7	-	43.2 ± 4.2	4.5 ± 2.3
I-2	77.2 ± 1.5	14.8 ± 0.9	12.3 ± 0.7	12.2 ± 0.4	1.3 ± 0.1	1.6 ± 0.1	46.9 ± 5.0	3.8 ± 1.9
II	77.4 ± 1.4	13.8 ± 1.1	11.3 ± 1.2	11.5 ± 1.7	2.7 ± 0.5	1.6 ± 0.2	53.6 ± 3.2	2.5 ± 0.6
II-1	79.3 ± 0.9	14.7 ± 0.4	12.4 ± 1.7	15.2 ± 1.7	1.4 ± 0.2	-	56.6 ± 3.8	-
II-2	85.8 ± 1.5	14.8 ± 0.2	14.9 ± 2.6	16.0 ± 1.2	3.24 ± 0.1	-	67.3 ± 1.2	-

¹Mean ± SD; ²Refer to Fig. 1; ³3,6-Anhydro- α -l-galactose; ⁴6-Methyl-*O*-galactose.

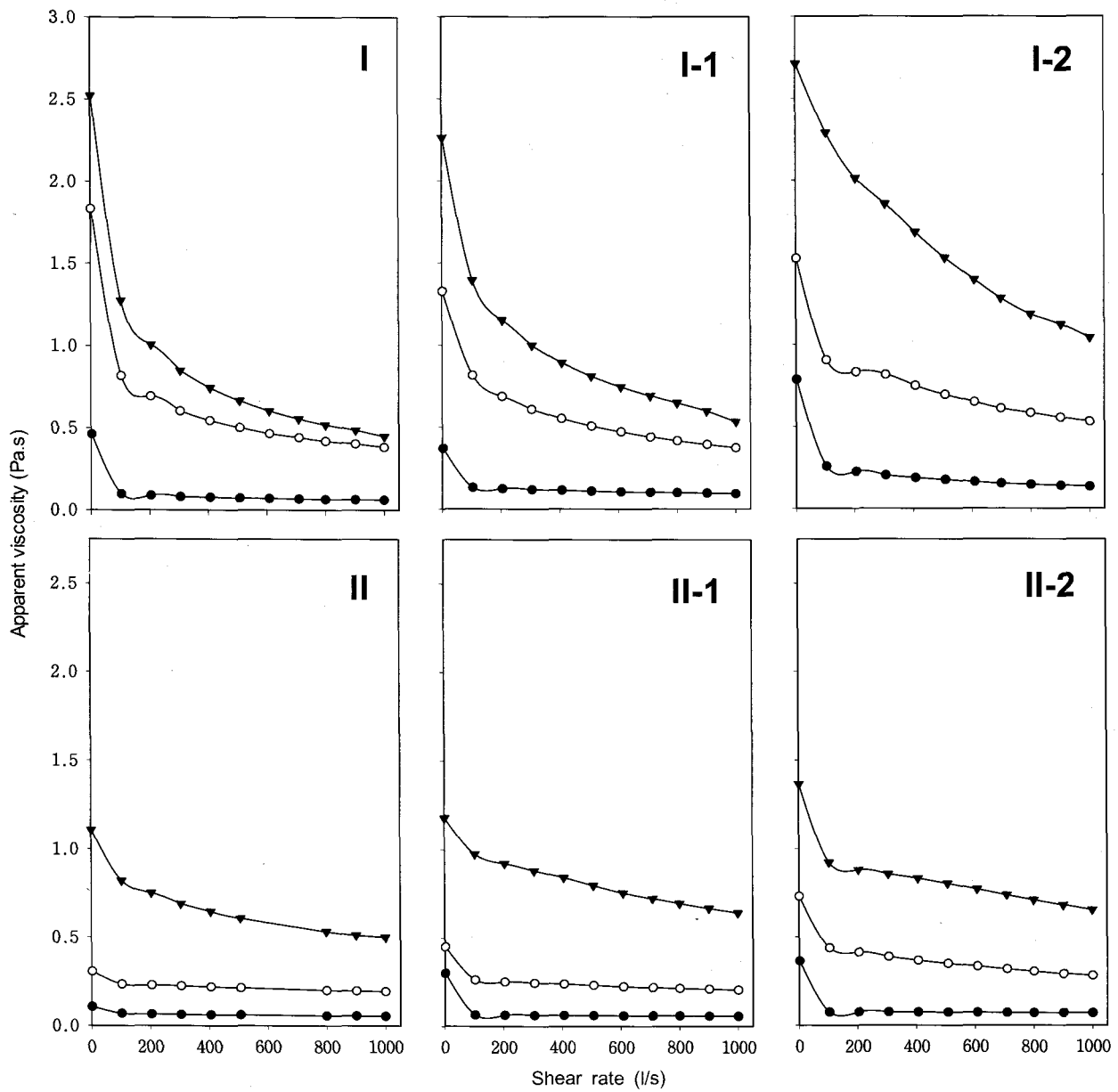


Fig. 2. Apparent viscosity-shear rate curves of deproteinized porphyran solutions at 25 °C.

I, I-1, I-2, II, II-1, II-2: refer to Fig. 1; \blacktriangledown , 7% porphyran solution; \circ , 5% porphyran solution; \bullet , 3% porphyran solution.

k: 점조성 지수 (Consistency index, Pa/sⁿ)
 n: 유동지수 (Flow behavior index)

또한 온도 변화에 따른 활성화 에너지 값의 변화는 Rao and Anantheswaran (1982)에 따라 Arrhenius model을 이용하여 계산하였다.

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \exp(Ea/RT)$$

η_{app} : 겉보기 점도 (Apparent viscosity, Pa·s)

η_{∞} : 무한 겉보기 점도 (Infinity apparent viscosity, Pa·s)

Ea: 유동활성화 에너지 (Activation energy of flow, J/kg·mol)

R: 기체 상수 (Gas constant, J/kg·mol K)

T: 절대온도 (Absolute temperature, K)

결과 및 고찰

제단백 포피란의 수율 및 화학적 특성

붉은 산 및 단백질 분해효소를 처리한 포피란의 수율 및 일반성분은 Table 1과 같다. 예비실험을 통해 선정한 묽은 산 (pH 4.0)으로 추출한 조포피란 처리구 (II)가 pH 무조정 처리구 (I)에 비하여 수율과 단백질 함량이 낮고 반면에 탄수화물의 함량은 높았다. 이 같이 산처리 처리구의 수율이 낮은 것은 포피란에 혼입된 단백질이 pH 4.0, 80°C, 3시간 추출 처리 동안에 변성이 되어 용해성이 감소되어 여과 과정에서 제거되었기 때문으로 여겨진다. 이는 추출 pH를 달리하여

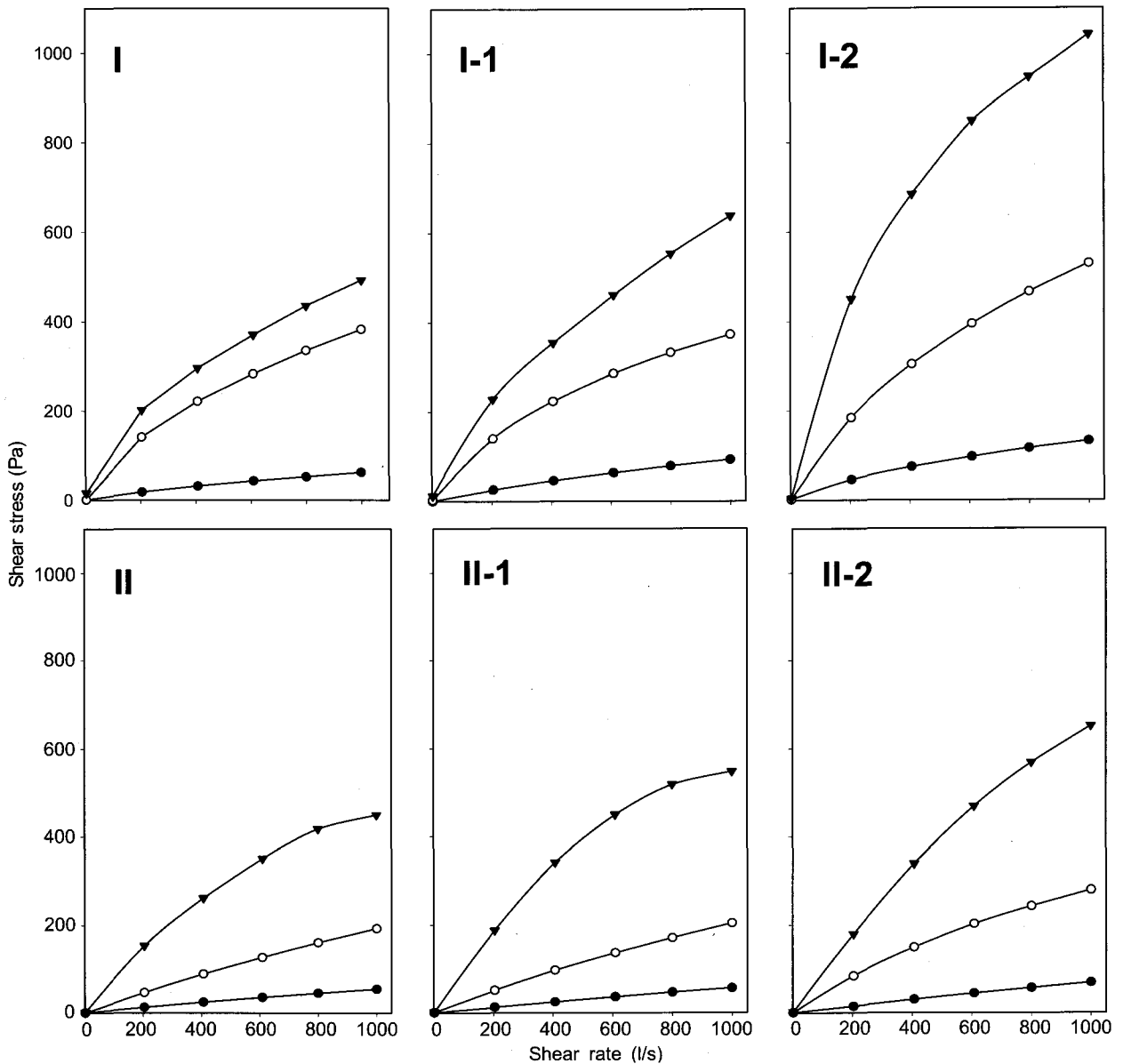


Fig. 3. Shear stress-shear rate curves of deproteinated porphyran solutions at 25°C. I, I-1, I-2, II, II-1, II-2: Refer to Fig. 1; \blacktriangledown , 7% porphyran solution; \circ , 5% porphyran solution; \bullet , 3% porphyran solution.

Table 3. Power law constants for deproteinated porphyrin solutions at different concentrations and temperatures

Samples ¹	Concentration (%)	Temperature (°C)	Power law model		
			n (-)	k (Pa·S ⁿ)	r ²
I	3	25	0.7778	0.2910	1.0000
		35	0.8173	0.1859	0.9999
		45	0.8302	0.1438	0.9999
	5	25	0.6218	4.6283	0.9999
		35	0.6305	4.5797	0.9998
		45	0.6416	3.7241	0.9998
	7	25	0.5112	12.2323	0.9997
		35	0.5803	7.6374	0.9999
		45	0.5963	5.7116	0.9999
I-1	3	25	0.8152	0.3407	0.9999
		35	0.8527	0.2120	1.0000
		45	0.8677	0.1595	1.0000
	5	25	0.6228	5.1911	0.9998
		35	0.6643	3.4056	0.9998
		45	0.6878	2.4858	0.9999
	7	25	0.5592	13.7382	0.9994
		35	0.6137	7.6849	0.9997
		45	0.6449	6.0569	0.9998
I-2	3	25	0.6788	1.2467	0.9998
		35	0.6978	0.9348	0.9998
		45	0.7507	0.5579	1.0000
	5	25	0.6648	5.4758	0.9998
		35	0.7059	3.6755	0.9998
		45	0.7175	2.8856	0.9998
	7	25	0.5438	25.2479	0.9995
		35	0.6104	14.4824	0.9997
		45	0.6267	11.2304	0.9997
II	3	25	0.8807	0.1246	1.0000
		35	0.8841	0.1041	1.0000
		45	0.9003	0.0729	1.0000
	5	25	0.8742	0.4336	1.0000
		35	0.9309	0.2549	1.0000
		45	0.9460	0.1968	1.0000
	7	25	0.7281	2.8547	0.9999
		35	0.7405	2.7980	0.9999
		45	0.7449	1.9247	0.9998
II-1	3	25	0.9208	0.0978	1.0000
		35	0.9413	0.0636	1.0000
		45	0.9564	0.0451	1.0000
	5	25	0.8582	0.5508	0.9999
		35	0.8818	0.3430	1.0000
		45	0.8947	0.3217	1.0000
	7	25	0.7571	3.5206	0.9997
		35	0.7668	2.6406	0.9997
		45	0.8130	1.5603	0.9998
II-2	3	25	0.9374	0.1073	1.0000
		35	0.9566	0.0717	0.9999
		45	1.0003	0.0412	1.0000
	5	25	0.7639	1.6338	0.9997
		35	0.7873	1.0400	0.9998
		45	0.8645	0.5423	0.9999
	7	25	0.7478	3.1261	0.9997
		35	0.7855	3.0155	0.9998
		45	0.7912	2.3294	0.9998

¹Refer to Fig. 1; ²Coefficient of determination.

얻은 포피란의 단백질 함량이 포피란 수율이나 총당과 반대 경향을 나타낸다는 보고와 일치한다 (Park et al., 1998).

단백질 분해효소 처리에 따른 단백질 함량은 pH 무조정 처리구인 I, I-1, I-2의 단백질의 함량이 각각 10.6%, 3.5%, 1.3% 이고, 산처리구인 II, II-1, II-2는 각각 2.4%, 0.8%, 0.6%였다. 즉, 포피란의 단백질 제거를 위해서는 묽은 산으로 추출 후 Alcalase와 Flavourzyme을 연속 처리하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

제단백 포피란의 당 조성 과 항산기 함량은 Table 2와 같다. 3,6-anhydro-L-galactose는 산성 가열 조건에서 비교적 쉽게 분해되고 (Furueux et al., 1990) 또한 pH 2.0-3.0의 산성 조건에서 추출한 포피란 중의 총당에 대한 3,6-anhydro-L-galactose의 비율은 중성 영역에서 추출한 포피란에 비해 감소한다고 보고 되어 있다 (Park et al., 1998). 그러나 본 실험에서는 pH 4.0에서 추출한 조포피란 (II)의 황산기와 3,6-anhydro-L-galactose의 함량이 pH 무조정 처리구 (I)에 비해 높았다. 이는 본 실험에서는 상대적으로 묽은 산인 pH 4.0에서 추출하여 3,6-anhydro-L-galactose의 분해가 상대적으로 적게 일어나고 또한 Table 1에 나타낸 바와 같이 묽은 산 추출시 대부분의 단백질이 제거됨에 따라 황산기와 3,6-anhydro-L-galactose의 함량이 상대적으로 증가하였기 때문으로 여겨진다. 또한 조포피란을 연속해서 단백질 분해효소로 가수분해한 I-1, I-2, II-1, II-2 모두 황산기, 3,6-anhydro-L-galactose, galactose의 함량이 증가하였다. 따라서 제단백 포피란 제조를 위해서는 마른 김을 pH 4.0으로 추출한 후 Alcalase와 Flavourzyme으로 연속 가수분해하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

제단백 포피란의 유동 특성

제단백 포피란 용액의 물성학적 특성을 조사하기 위해 Fig. 1과 같이 묽은 산 및 단백질 분해효소 처리하여 제조한 제단백 포피란을 이용하여 물성학적 특성을 조사하였다. 제단백 포피란 용액 (3%, 5%, 7%)의 전단속도 증가에 따른 전단 응력의 변화는 Fig. 2와 같다. pH 무조정 처리구와 묽은 산 처리구 모두 단백질 분해효소인 Alcalase와 Flavourzyme 처리에 따라 겔보기 점도가 증가 하였다. 즉, 단백질의 함량이 감소할수록 점도가 증가하였다. 반면에 묽은 산으로 추출한 조포피란 (II)은 열수 추출한 조포피란 (I)에 비해 단백질의 함량이 낮음에도 (Table 1) 겔보기 점도는 오히려 낮았다. 이는 묽은 산 처리 중 일부 포피란이 분해되어 저분자화되었기 때문이다 (Park et al., 1998). 따라서 제단백 포피란의 점도는 단백질의 함량보다 분자량 크기에 더욱 더 영향을 받음을 알 수 있다.

전단 속도에 따른 전단 응력 값을 이용해 power law 식에 따라 구한 제단백 포피란의 유동 특성 값은 Fig. 3과 Table 3과 같다. pH 무조정 처리구 (I, I-1, I-2)와 묽은 산 처리구 (II, II-1, II-2) 모두 유동지수 값이 1 이하의 의가소성을 나타내었다. 또한 전 시료 모두 용액의 농도가 증가할수록 유동지수 값이 감소한 반면 점조도 지수는 증가하였다. 이는 해조 산성 다당류인 푸코이단 용액의 경우도 농도가 증가함에 따라 유동

지수는 감소하고 점조도는 증가한다는 기존의 보고와 일치한다 (Koo et al., 1997). 한편 단백질 분해효소 처리를 함에 따라 점조도 지수는 증가하나 유동지수 값은 뚜렷한 경향을 나타내지 않은 반면에 산 처리구 시료는 pH 무조정 처리 시료에 비해서 유동지수 값이 높은 일정한 경향을 나타내었다. 즉, 단백질 분해효소 처리에 따른 단백질 감소에 따른 유동 특성 값은 일정한 경향을 나타내지 않은 반면 산 처리한 포피란 용액은 pH 조정하지 않은 포피란 용액에 비해 유동지수 값이

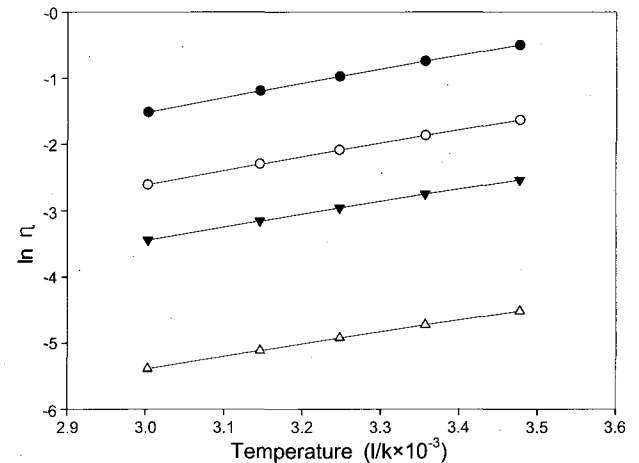


Fig. 4. The effect of temperature on the viscosity of deproteinated porphyran solutions at 1,000 L/s. Δ , 1% porphyran solution; \blacktriangledown , 3% porphyran solution; \circ , 5% porphyran solution; \bullet , 7% porphyran solution.

Table 4. Activation energies, infinity apparent viscosities, and coefficients of determination for deproteinated porphyran solutions (II-2) at 1,000 L/s

Concentration (%)	Temperature (°C)	η^1 (Pa·s)	Ea^2 ($\times 10^4$ J/kg·mol)	A^3 ($\times 10^{-7}$ Pa·s)	r^4
1	15	0.0110	1.4954	0.02104	0.9939
	25	0.0088			
	35	0.0073			
	45	0.0058			
	60	0.0048			
3	15	0.0800	1.5616	0.1158	0.9959
	25	0.0622			
	35	0.0515			
	45	0.0421			
	60	0.0330			
5	15	0.1980	1.6375	0.2072	0.9891
	25	0.1530			
	35	0.1210			
	45	0.0963			
	60	0.0800			
7	15	0.5900	1.9544	0.1799	0.9819
	25	0.4970			
	35	0.3960			
	45	0.2990			
	60	0.1980			

¹Apparent viscosities; ²Activation energies; ³Infinity apparent viscosities; ⁴Coefficient of determination.

증가하여 뉴우턴 유체와 유사한 특성을 나타내었다. 따라서 제단백 포피란 제조를 위한 볶은 산 처리 과정 중 일부 포피란 분자의 저분자화가 일어나 포피란 용액의 점도 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

온도 변화에 따른 점도의 변화

제단백 포피란 용액의 겔보기 점도에 대한 온도의 영향을 알아보기 위해 약산성 (pH 4.0)에서 추출 후 Alcalase와 Flavozyme을 연속 처리한 제단백 포피란 (II-2)용액 (1%, 3%, 5%, 7%)을 전단 속도 1,000 L/s에서 온도를 15-60°C를 변화시키면서 겔보기 점도를 측정하였다. In η 와 1/T로 나타낸 결과 Fig. 4와 같이 전 시료 모두 온도가 증가함에 따라 직선적으로 겔보기 점도가 감소하였다. Arrhenius식을 이용하여 구한 활성화 에너지는 Table 4와 같다. 활성화 에너지는 농도가 증가됨에 따라 1.4954×10^4 에서 1.9544×10^4 J/kg·mol로 증가하였다. 즉, 농도가 높을수록 온도가 겔보기 점도에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 이는 천마 농축액의 농도가 증가함에 따라 활성화 에너지가 3.340×10^3 J/kg·mol에서 4.620×10^3 J/kg·mol로 증가한다는 Lee et al. (2003)의 보고와 비슷한 결과이다.

사 사

본 연구는 해양수산부 수산특정과제 (김을 이용한 기능성 식품 개발; 20040024; 2004년 7월 - 2006년 7월) 지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis, 15th Ed., Kenneth Elrich, ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, U.S.A.
 Dodgson, K.S. and R.G. Price. 1962. A note on the determination of the ester sulfate content of sulphated polysaccharides. *Biochem. J.*, 84, 106-110.
 Dubois, M., K.A. Gills, J.K. Hamilton, P.A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for the determination of sugars and related substance. *Anal. Biochem.*, 28, 350-356.
 Furneaux, R.H., I.J. Miller and T.T. Stevenson. 1990. Agaroids from New Zealand members of the Gracilariaceae (*Gracilariales*, *Rhodophyta*) - a novel

dimethylated agar. *Hydrobiologia*, 204/205, 645-654.
 Knutson, C.A. and A. Jeanes. 1968. A new modification of the carbazole analysis. *Anal. Biochem.*, 24, 470-481.
 Koo, J.G., K.S. Jo and J.H. Park. 1997. Rheological properties of fucoidans from *Laminaria religiosa*, sporophylls of *Undaria pinnatifida*, *Hizikia fusiforme* and *Sagassum fulvellum* in Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 329-333.
 Lee, B.Y., O.K. Lee and K.I. Kim. 2003. Rheological properties of gastrodiae rhizoma concentrates by extraction solvents. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 35, 188-194.
 Noda, H., H. Amano and K. Arashima. 1989a. Studies on the antitumour activity of marine algae. *Nippon Suisangakkaishi*, 55, 1259-1264.
 Noda, H., H. Amano and K. Arashima. 1989b. Antitumour activity of polysaccharides and lipids from marine algae. *Nippon Suisangakkaishi*, 55, 1265-1271.
 Park, J.H., J.G. Koo, J.R. Do, C.B. Yang and S.J. Woo. 1998. Effect of extraction temperature and pH on the chemical properties of crude porphyran extracted from *Porphyra yezoensis*. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32, 127-131.
 Peat, S., J.R. Turvey and D.A. Rees. 1961. Carbohydrates of the red alga, *Porphyra umbilicalis*. *J. Chem. Soc.*, 1590-1595.
 Rao, M.A. and R.C. Anantheswaran. 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technol.*, 36, 116-126.
 Su, J.C. and W.Z. Hassid. 1962. Carbohydrates and nucleotides in the red alga *Porphyra perforata*. 1. Isolation and identification of carbohydrates. *Biochemistry*, 1, 468-474.
 Zhang, Q., L. Ning, X. Liu, Z. Zhao, Z. Li and Z. Xu. 2004. The structure of a sulfated glactan from *Porphyra haitanensis* and its vivo antioxidant activity. *Carbohydr. Res.*, 339, 105-111.

2006년 12월 29일 접수
 2007년 2월 10일 수리