

구약감자 Glucomannan 현탁액의 유동특성

지수경 · 김남수
한국식품개발연구원

Rheological Properties of Konjac Glucomannan Dispersions

Soo-Kyung Ji and Namsoo Kim
Korea Food Research Institute

Abstract

Konjac(*Amorphophallus konjac*) glucomannan dispersions were prepared from konjac flour, pretreated konjac flour and purified glucomannan. Konjac glucomannan dispersions showed non-Newtonian fluid behavior without yield stress and higher shear stress at fixed shear rate than the dispersions of gum xanthan, gum carrageenan and sodium alginate. While temperature increased, shear stress at fixed shear rate of konjac glucomannan dispersion steadily decreased. The apparent viscosity of konjac glucomannan dispersion was in its maximum at pH 7, whereas decreased on the outskirts of pH 7. The change in apparent viscosity was not found up to 1% sodium chloride addition in case of konjac glucomannan dispersion. However, the apparent viscosity of konjac glucomannan dispersion decreased up to sugar addition of 10%, afterwards increased.

Key words: konjac glucomannan, rheological properties

서 론

식이섬유는 수분결합력, 담즙산 및 콜레스테롤과 같은 유기물질과 발암물질에 대한 흡착력, 양이온결합력, 장내미생물에 의한 발효성 등의 특성을 지니므로⁽¹⁻⁴⁾ 섭취시 정장, 변비감소, 대장암 예방, 성인병 예방 및 치료, 담석증 방지 등의 효과를 보여준다고 한다⁽⁵⁻⁹⁾. 그러나 최근 식이섬유섭취는 계속 감소추세여서 1일 섭취권장량은 20~35g이나 1일 섭취량은 미국의 경우 10~15g, 일본의 경우 17~25g이고 국내의 경우도 체계적인 통계자료가 부족한 상황이지만 식생활의 급속한 서구화로 인한 식이섬유 섭취 부족이 중요한 쟁점으로 부각되고 있는 실정이다^(10,11). 이와 같이 날로 감소추세에 있는 식이섬유섭취를 증진시켜 국민건강에 기여하기 위해서는 현대인의 감각에 맞게 조직감과 편의성을 크게 증진시킨 고급화된 제품의 개발이 필요하며 수용성 식이섬유는 이런 목적을 위한 적절한 소재가 될 수 있다⁽¹²⁾.

구약감자에는 양질의 수용성 식이섬유인 glucomannan이 다량 함유되어 있으며 일본에서는 예로부터 전통식품의 중요소재로서 국수, 육제품, 어육연제품 등에 사용되어오고 있다^(13,14). 구약감자 glucomannan은 특유의 겔형성력, 증점특성, 필름형성능, 다른 검류 및 전분류와의 상승작용, 유동특성 등을 지니고 있어 식품산업에

응용가능성이 매우 높은 식품소재이다⁽¹⁵⁾.

본 연구에서는 구약감자 glucomannan의 식품가공적 성을 검토하기 위한 한 시도로서 현재 국내에서 식품가공용으로 사용되고 있는 구약감자 glucomannan의 현탁액을 제조하고 그 유동특성을 구명하였기에 결과로서 보고하고자 한다.

재료 및 방법

공시재료

구약감자분말은 김포소재 대진상사로부터 구입하였으며 이로부터 예비정제 구약감자분말을 Sugiyama 등의 방법⁽¹⁶⁾에 의하여 제조하였다. 정제 glucomannan은 예비정제 구약감자분말로부터 다음과 같이 제조하였다. 즉 예비정제 구약감자분말을 증류수에 0.625% 농도로 가한 후 120 rpm으로 하룻밤 교반하면서 glucomannan 현탁액을 만들고 진공여과를 행하여 전분질 등의 비용해성분 및 기타 불순물을 제거하였다. 여과액에 ethanol을 1:3 (v/v) 비율로 첨가한 후 잘 흔들어주고 하룻밤 정치시켜 glucomannan을 응결시켰다. 325메쉬의 표준망체를 통과시켜 용매를 분리시킨 후 98% ethanol을 사용하여 glucomannan 응결물을 3회 씻어주었다. Spatula로 눌러 주어 glucomannan 응결물로부터 용매를 가능한한 많이 제거하였다. Hood 안에서 실온건조시킨 후 유발을 사용하여 분쇄하여 정제 glucomannan을 얻었다. Xanthan 및 carrageenan검, sodium alginate는 Sigma사(St. Louis,

Corresponding author: Namsoo Kim, Korea Food Research Institute, Songnam, Kyonggi-do, Korea

MO)로부터 구입하여 별도의 정제없이 사용하였다.

시료현탁액 제조

구약감자분말, 예비정제 구약감자분말, 정제 glucomannan 및 기타 다당류를 각각 0.3, 0.6, 1.0%(w/v)가 될 때까지 증류수 250 ml가 담겨있는 비이커에 서서히 가하고 완전히 용해될 때까지 magnetic bar로 저속교반하여 시료현탁액을 제조하였다. 비이커의 내용물 중 발생할 수 있는 기포는 감압하에서 제거하였다.

유동특성 측정

시료현탁액의 유동특성은 Brabender사(Duisburg, Germany)의 Viscotron에 의하여 다음과 같이 측정하였다. 즉 내경 50.5 mm, 외경 52.0 mm의 측정용 컵에 65 ml의 시료현탁액을 가하고 온도를 25°C 로 유지하면서 회전수 (rpm)를 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512로 변화시켰을 때의 토크의 변화를 측정하고 이로부터 전단속도(shear rate, $\dot{\gamma}$)와 평형전단응력(equilibrium shear stress, τ)을 다음과 같이 구하였다.

$$\tau = Y \cdot B \cdot S \cdot P_a \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = X \cdot N, s^{-1} \quad (2)$$

여기에서 X와 Y는 각각 전단속도인자, 전단응력인자로서 본 실험의 측정조건하에서는 3.67, 0.0224의 값을 나타낸다. 또한 B는 감도범위, S는 디지털측정치, N은 rpm을 나타낸다. 각각의 시료현탁액이 항복응력(yield stress, τ_y)을 보여주는지의 여부는 환화시험에 의하여 다음과 같이 측정하였다. 즉 0.25 rpm에서 15초간 회전시킨 후 모터를 끌 때 항복응력이 있으면 점도계가 정지하여도 디지털측정치가 영이되지 않으므로(S_0), $\tau_y = Y \cdot B \cdot S_0$ 로서 표시된다.

한편 온도에 따른 유동특성의 변화는 0.6% 예비정제 구약감자분말 현탁액을 시료로 하여 온도를 20, 35, 45, 55, 65°C 로 변화시키면서 측정하였다. pH 효과는 3 M HCl 혹은 NaOH를 첨가하여 pH 3, 5, 7, 9, 10으로 조절된 0.6% 다당류 현탁액의 온도를 25°C 로 고정한 후 측정하여 분석하였다. 유동특성에 미치는 첨가물의 영향은 0.6% 다당류 현탁액에 식염을 각각 0.1, 0.2, 0.5, 1.0% 첨가하거나 설탕을 각각 5, 10, 30% 첨가한 후 유동특성을 측정하여 평가하였다.

결과 및 고찰

농도에 따른 유동특성

농도에 따른 구약감자 glucomannan 현탁액의 유동특성을 xanthan검, carrageenan검, sodium alginate 현탁액의 유동특성과 비교하였다(Fig. 1). 본 실험에서 공시된 모든 다당류들은 전단속도가 증가함에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하는 비뉴턴성유체의 성질을 보여

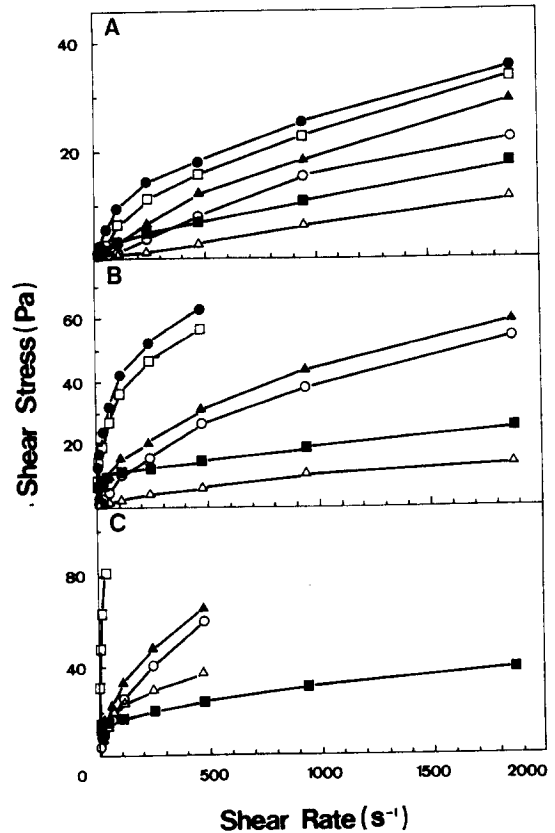


Fig. 1. Power law curves at various concentration of polysaccharide

The concentrations of polysaccharide dispersions in panel A, B and C were 0.3, 0.6 and 1.0%, respectively. Symbol designation: (○), konjac flour; (●), pretreated konjac flour; (□), purified glucomannan; (■), gum xanthan; (△), gum carrageenan; (▲), sodium alginate

주었으며 구약감자분말 현탁액을 제외하고는 그 중 전단속도가 증가함에 따라 전단응력의 증가속도가 감소하는 의가소성유체의 유동현상을 보여주었는데 이는 식물과 미생물 기원의 다른 다당류의 경우에서도 잘 관찰된다^(17,18). 한편 구약감자 glucomannan 현탁액의 경우에는 항복응력이 나타나지 않았으며 이러한 현상은 0.6%와 1.0%의 xanthan검(각각 0.31, 0.91 Pa의 항복응력을 보임) 현탁액을 제외한 다른 다당류 현탁액의 경우에도 마찬가지였다. 또한 일정한 시료농도에서 구약감자 glucomannan의 경우는 대체적으로 다른 다당류의 경우보다 전단응력이 높게 나타났으며 xanthan검의 경우에는 낮은 전단속도에서 구약감자 glucomannan의 경우보다 높은 전단응력을 보여주었으나 전단속도가 높아지면 반대현상을 나타냈다.

본 실험에 사용된 다당류 현탁액의 유동특성은 지수 모델에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다^(18,19).

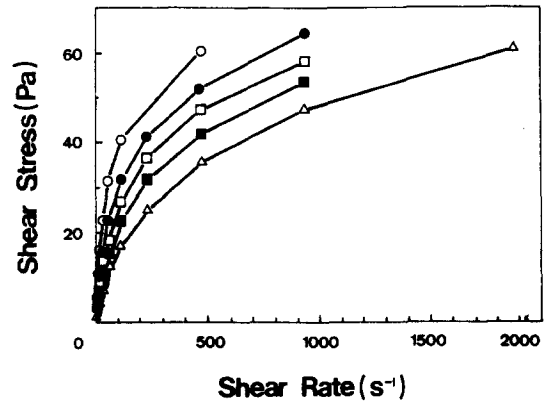
Table 1. Effects of concentration on the rheological parameters of polysaccharide dispersions

Concentration (%)	n	K ($P_a \cdot s^n$)
Konjac flour		
0.3	1.21	0.004
0.6	1.02	0.047
1.0	1.08	0.144
Pretreated konjac flour		
0.3	0.99	0.050
0.6	0.55	2.928
1.0	— ¹⁾	— ¹⁾
Purified glucomannan		
0.3	0.97	0.042
0.6	0.69	1.341
1.0	0.65	12.134
Gum xanthan		
0.3	0.41	0.553
0.6	0.16	5.517
1.0	0.16	8.796
Gum carrageenan		
0.3	0.89	0.013
0.6	0.63	0.140
1.0	0.30	5.628
Sodium alginate		
0.3	0.85	0.049
0.6	0.95	0.111
1.0	0.86	0.594

¹⁾Not determined owing to high viscosity which can not be measured with this measuring cup

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

여기에서 n은 유동지수(flow behavior index), K는 점도도지수(consistency index)를 나타낸다. (3)식에 의하여 전단속도와 전단응력과의 관계를 양대수좌표에 표시한 후 n 및 K값을 구하였다(Table 1). n값의 변화를 보면 구약감자분말 현탁액은 팽창유체의 특성을 보여주었으며 그 경향은 저농도에서 보다 큰 것으로 나타났다. 반면 예비정제 구약감자분말 및 정제 glucomannan 현탁액은 의가소성유체의 경향을 보여주었으나, 0.3%의 시료농도에서는 n값이 각각 0.99, 0.97로서 1에 가까워 뉴우튼성유체에 근접함을 알 수 있었다. 모든 시료에 있어 의가소성의 증대는 농도의존적으로 발생하였으며^(18,20) 이러한 현상은 xanthan검의 경우 가장 현저하여 0.3, 0.6, 1.0%의 시료농도에서의 n값은 각각 0.41, 0.16, 0.16에 불과하였다. K값의 경우 농도의존성은 더욱 뚜렷하여 정제 glucomannan의 경우 K값이 $0.042 P_a \cdot s^n$ 에서 $12.134 P_a \cdot s^n$ 까지 변화하였고 예비정제 구약감자분말의 경우는 증가경향이 이보다 더 클 것으로 예상되었다. Xanthan검과 carrageenan검의 경우에도 구약감자 glucomannan의 경우보다는 그 정도가 낮으나 K값의 높은 농도의존성이 관찰되었다.

**Fig. 2. Power law curves of 0.6% pretreated konjac flour dispersion at varying temperature**

Symbol designation: (○), 20°C; (●), 35°C; (□), 45°C; (■), 55°C; (△), 65°C

Table 2. Effects of temperature on the rheological parameters of 0.6% pretreated konjac flour dispersion

Temperature (°C)	n	K ($P_a \cdot s^n$)
20	0.64	1.970
35	0.80	0.584
45	0.79	0.537
55	0.82	0.394
65	0.97	0.118

온도에 따른 유동특성

구약감자 glucomannan 중 일정 전단속도에서의 전단응력이 가장 높고 식품에 이용가능성이 높을 것으로 판단되는 예비정제 구약감자분말을 시료로 하여 완전히 팽윤시킨 후 온도에 따른 유동특성을 검토하였다(Fig. 2). 온도에 따른 구약감자 glucomannan 현탁액의 유동특성도 전단속도의 증가에 따른 전단응력의 증가속도가 감소하는 의가소성유체의 특성을 보여주었으며 일정 전단속도에서 전단응력의 크기는 온도가 높아짐에 따라 감소하였으나 그 감소정도는 전분화해액의 경우⁽²¹⁾와는 다르게 비교적 균일한 편이었다.

이때 n값은 20°C의 측정온도에서 0.64인 반면 온도가 높아짐에 따라 서서히 증가하여 65°C에서는 0.97로 의가소성이 거의 상실됨을 알 수 있었고 K값은 20°C의 측정온도에서 $1.970 P_a \cdot s^n$ 으로 높았으나 온도가 증가함에 따라 현저히 감소하여 65°C에서는 $0.118 P_a \cdot s^n$ 에 불과하였다(Table 2).

pH 및 첨가물의 영향

식이섬유 현탁액에 다른 식품성분들이 첨가되었을 경우의 유동특성은 식품가공과 관련하여 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 실험에서는 pH 변화시와 식염 및 설탕을

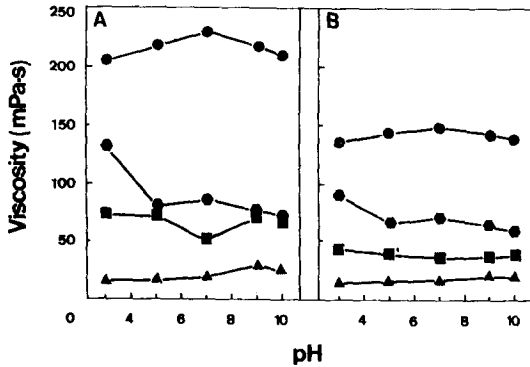


Fig. 3. Effects of pH on the apparent viscosity of 0.6% polysaccharide dispersions

The shear rates in panel A and B were 117.44 and 234.88 s⁻¹, respectively. Symbol designation: (●), konjac glucomannan; (■), gum xanthan; (▲), gum carrageenan; (○), sodium alginate

첨가했을 때의 예비정제 구약감자분말 현탁액의 점성변화를 xanthan검, carrageenan검, sodium alginate 현탁액의 경우와 비교하였다. 이때 점도측정은 본 실험의 측정용 컵을 사용시 구강내에서의 혀의 회전속도와 비슷한 조건인 117.44 및 234.88 s⁻¹의 전단속도에서 실시하였다⁽¹⁸⁾.

Fig. 3에는 pH를 바꾸어주었을 때의 점성변화를 측정 한 결과가 나타나 있다. 구약감자 glucomannan 현탁액은 pH 7에서 가장 점성이 높아 전단속도 117.44와 234.88 s⁻¹에서 각각 230, 148 mPa·s의 겔보기점도를 나타냈으며 pH가 이보다 높아지거나 낮아지면 겔보기점도가 약간씩 감소하였다. 이와 같이 중성 pH에서 점성이 가장 높고 pH가 이보다 높거나 낮으면 점성이 감소하는 현상은 구약감자 glucomannan 내부의 정전기적 작용이 변화하여 구조가 바뀌었으며 이러한 구조변화가 점성변화를 야기함을 반영한다⁽¹⁸⁾. Xanthan검 현탁액의 경우에는 이와 반대로 pH 7에서 점성이 가장 낮고 산성 및 알칼리 조건에서는 점성이 증가하였고 carrageenan검 현탁액은 pH에 따른 점성변화가 비교적 없는 편이었으나 sodium alginate 현탁액의 경우에는 낮은 pH에서 현저하게 높은 점성을 보여주는 특징을 가지고 있었다.

식염의 첨가수준에 따른 구약감자 glucomannan 현탁액의 점성변화를 다른 다당류 현탁액의 경우와 비교한 결과 Fig. 4를 얻었다. 구약감자 glucomannan 현탁액은 1.0%까지의 식염첨가에 의해서 점성변화를 그다지 보이지 않았으나 carrageenan검과 sodium alginate 현탁액의 경우는 0.5% 이상의 식염첨가시 점성증가가 현저하였다. 반면 xanthan검 현탁액의 경우는 0.5% 식염 존재하에서 점성이 가장 높은 반면 식염농도가 이보다 높거나 낮으면 점성이 약간 감소하였다.

설탕의 첨가수준에 따른 점성변화를 보면 구약감자 glucomannan 현탁액은 10%의 설탕첨가까지는 점성이

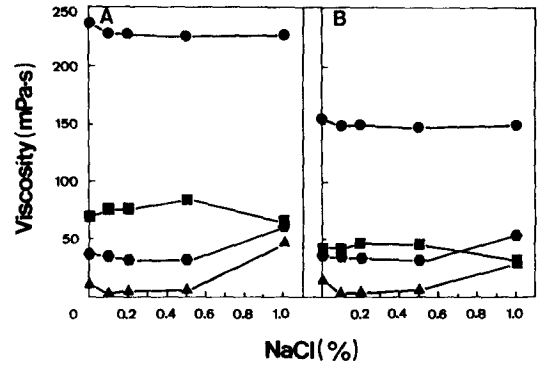


Fig. 4. Effects of sodium chloride addition on the apparent viscosity of 0.6% polysaccharide dispersions

The shear rates in panel A and B were 117.44 and 234.88 s⁻¹, respectively. Symbol designation: (●), konjac glucomannan; (■), gum xanthan; (▲), gum carrageenan; (○), sodium alginate

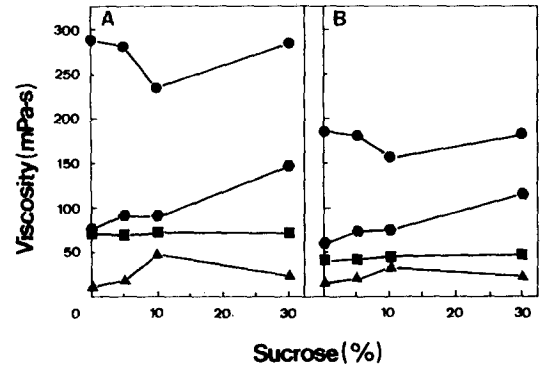


Fig. 5. Effects of sucrose addition on the apparent viscosity of 0.6% polysaccharide dispersions

The shear rates in panel A and B were 117.44 and 234.88 s⁻¹, respectively. Symbol designation: (●), konjac glucomannan; (■), gum xanthan; (▲), gum carrageenan; (○), sodium alginate

감소하다 그후 증가하는 양상을 보여주어 carrageenan검 현탁액의 그것과는 상반되는 현상을 보여주었다(Fig. 5). 반면 xanthan검 현탁액은 설탕첨가에 따른 점성변화가 거의 없었으며 sodium alginate 현탁액의 경우에는 설탕첨가에 따라 점성이 계속 증가하여 30%의 설탕첨가 시는 초기 겔보기점도의 2배 가까이 되었다.

요 약

구약감자(*Amorphophallus konjac*)로부터 glucomannan 현탁액을 제조하고 그 유동특성을 구명하였다. 구약감자 glucomannan 현탁액은 항복응력이 없는 비뉴우톤성유체의 거동을 보여주었으며 다른 다당류 현탁액보다 일정 전단속도에서의 전단응력이 대체적으로 높게 나타났다.

n값의 변화로 보아 구약감자분말 현탁액은 팽창유체의 경향을 약간 보인 반면 예비정제 구약감자분말 및 정제 glucomannan 현탁액의 경우는 의가소성유체의 거동을 보여주었다. 온도가 높아짐에 따라 구약감자 glucomannan 현탁액은 일정 전단속도에서의 전단응력의 크기가 감소하는 경향을 보여주었으나 그 감소정도는 비교적 균일하였다. 구약감자 glucomannan 현탁액은 pH 7에서 가장 점성이 높았으며 pH가 이보다 높아지거나 낮아지면 점성이 약간씩 감소하였다. 또한 1%까지의 식염첨가에 의해서는 점성변화가 거의 나타나지 않는 반면 10%까지의 실탕첨가에 의해서는 점성이 감소하다 그후 증가하는 양상을 보여주었다.

감사의 말

본 연구는 1992년도 과학기술처 선도기술개발과제의 하나로 관련연구비지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구 수행과정에 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드리고자 합니다.

문 헌

- Eastwood, M.A., Anderson, R., Mitchell, W.D., Robertson, J. and Pocock, S.: A method to measure the adsorption of bile salts to vegetable fibre of differing water holding capacity. *J. Nutr.*, **106**, 1429 (1976)
- Kritchevsky, D. and Story, J.A.: Binding of bile salts *in vitro* by non-nutritive fiber. *J. Nutr.*, **104**, 458 (1974)
- Reinhold, J.G., Ismail-Bdigi, F. and Furdji, B.: Fiber vs. phytate as determined by availability of calcium, zinc, and iron of breadstuffs. *Nutr. Rep. Int.*, **12**, 75 (1975)
- Schweizer, T.F., Bekhechi, A.R., Koellreutter, B., Reimann, S., Pometta, D. and Bron, B.A.: Metabolic effects of dietary fiber from dehulled soybeans in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, **38**, 1 (1983)
- Albrink, M.J., Newman, T. and Davidson, D.C.: Effect of high and low fiber diets on plasma lipids and insulin. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1486 (1979)
- Finegold, S.M. and Sutter, V.L.: Fecal flora in different populations, with special reference to diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, S116 (1978)
- Heaton, K.W.: Gallstones and cholecystitis. In *Refined Carbohydrate Foods and Disease*, Burkitt, D.P. and Trowell, H.C.(ed), Academic Press, London, p.173 (1975)
- Kay, R.M.: Effects of diet on the fecal excretion and bacterial modification of acidic and neutral steroids, and implications for colon carcinogenesis. *Cancer Res.*, **41**, 3774 (1981)
- Smith, R.G., Rowe, M.J., Smith, A.N., Eastwood, M.A., Drummond, E. and Brydon, W.G.: A study of bulking agents in elderly patients. *Age Ageing*, **9**, 267 (1980)
- Lee, S.C. and Prosky, L.: Dietary fiber analysis for nutrition labeling. *Cereal Foods World*, **37**(10), 765 (1992)
- Wisker, E., Feldheim, W., Pomeranz, Y. and Meuser, F.: Dietary fiber in cereals. *Adv. Cereal Sci. Technol.*, **7**, 169 (1985)
- 編輯部: 技能性 素材の 開發の 現状. 食品と 開發, **26** (4), 14 (1991)
- Kishida, N.: Relationship between the quality of konjac flour and the molecular matter nature of konjac mannan. *Agric. Biol. Chem.*, **43**(11), 2391 (1979)
- Nishinari, K., Williams, P.A. and Phillips, G.O.: Review of the physico-chemical characteristics and properties of konjac mannan. *Food Hydrocoll.*, **6**(2), 199 (1992)
- Tye, R.J.: Konjac flour, properties and applications. *Food Technol.*, **45**(3), 87 (1991)
- Sugiyama, N., Shimahara, H. and Andoh, T.: Studies on mannan and related compounds. I. The purification of konjac mannan. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **45**, 561 (1972)
- Aouadi, S., Heyraud, A., Seigle-Murandi, F., Steiman, R. and Fournet, B.: Structural analysis and rheological behaviour of an extracellular polysaccharide from *Drechslera spicifera*. *Carbohydr. Polym.*, **17**, 177 (1992)
- Cui, W., Eskin, N.A.M. and Biliaderis, C.G.: Chemical and physical properties of yellow mustard (*Sinapis alba* L.) mucilage. *Food Chem.*, **46**, 169 (1993)
- Whitcomb, P.J., Gutowski, J. and Howland, W.W.: Rheology of guar solutions. *J. Appl. Polym. Sci.*, **25**, 2815 (1980)
- Lapasin, R., Pricl, S., Bertocchi, C., Navarini, L. and Cesaro, A.: Rheology of culture broths and exopolysaccharide of *Cyanospora capsulata* at different stages of growth. *Carbohydr. Polym.*, **17**, 1 (1992)
- Kim, N. and Nam, Y.J.: Rheological properties of gelatinized millet starch dispersions. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **21**, 742 (1989)

(1994년 12월 29일 접수)