

무우쥬스 농축액의 Rheological Properties

이세은 · 이부용 · 진재순 · 김동만 · 김길환
한국식품개발연구원

Rheological Properties of Radish Juice Concentrates

Se-Eun Lee, Boo-Yong Lee, Jae-Soon Jin, Dong-Man Kim and Kil-Hwan Kim

Korea Food Research Institute

Abstract

To improve preservation and utilization of radish juice concentrates, radish juice were concentrated by reverse osmosis(RO) and thin layer evaporator(TLE) and their rheological properties were investigated. Radish juice concentrates were considered as newtonian fluids. The apparent viscosity of conc. 1 (Heat treatment radish juice, concentrated by TLE), conc. 2 (Raw radish juice, concentrated by TLE), conc. 3 (Heat treatment radish juice, concentrated by RO) were 0.0503, 0.0578 and 0.0655 Pa.s at 10(1/s), respectively. The yield stress of these concentrates were ranged from 0.0001 to 0.0580 Pa. The activation energy for the flow of the radish juice conc. 1 were increased from 2.7057 to 4.1159×10^4 KJ/kg.mol by increasing concentration of radish juice.

Key words: radish juice, rheological properties

서 론

국내에서 생산되는 과실 채소의 연간 총생산량은 1989년의 경우 약 1,000만톤 정도이며⁽¹⁾ 이중 무우는 약 184만톤이 생산되어 과실 및 채소류 총생산량중 차지하는 비율이 18.4%이었다. 이와 같이 대량생산 되는 무우의 수확시기가 가을철로 편중되어 있고 저장의 어려움 때문에 과잉생산시에는 상당한 양의 무우가 폐기처분될 뿐 아니라 생산농가의 경제적 손실도 매우 크다. 그러나 무우에 관하여 그동안 수행되어온 연구내용을 살펴보면 김치류 재료에 관한 연구⁽²⁻⁴⁾, 건조품 제조에 관한 연구⁽⁵⁾, 무우의 식품으로서의 안정성을 검토한 잔류농약 함량조사⁽⁶⁾ 및 무우의 특유한 맛과 냄새에 관련된 gluco-sinolate에 관한 연구들로서 기존의 이용 방안 범주를 벗어나지 못하고 있다.

이에 저자들은 무우를 기존용도 이외에 대량으로 가공 소비시킬 수 있는 방안으로 무우를 이용한 쥬스 개발에 대한 연구⁽⁷⁾와 무우쥬스의 품질향상을 위한 부원료의 배합법과 포장중 갈변방지 등을 위한 연구를 수행한 바 있다⁽⁸⁾.

따라서 본 실험에서는 착즙후 농축시켜 저장하면서 무우쥬스 제조시 원료 및 여러가지 용도로 사용되는 무우쥬스 농축액의 기본적인 rheological properties에 대해 보고하고자 한다.

재료 및 방법

시료

착즙용 무우는 1990년 11월 중순 전북 고창군 대사에서 수확한 백경 품종으로 구입 후 현지에 저장하면서 필요에 따라 운송 사용하였다.

무우쥬스의 제조

수세후 절단한 무우를 chopper에 통과시켜 조직을 파쇄한 후 유압식 압착기를 이용하여 착즙하고 한외여과막을 통과시켜 제조한 것(생무우쥬스)과 수세후 절단한 무우를 121°C에서 10~15분간 가열처리 후 유압식 압착기를 이용하여 착즙하고 한외여과막을 통과시켜 제조한 것(열처리무우쥬스) 2가지 방법으로 쥬스를 제조하였다.

무우쥬스의 농축

Fig. 1에 나타난 바와 같이 무우쥬스 제조방법 및 농축방법에 따라 3가지 농축구로 제조하였다. 1번 농축구는 열처리 무우쥬스를 박막농축법으로, 2번 농축구는 생무우쥬스를 박막농축법으로 그리고 3번 농축구는 열처리 무우쥬스를 역삼투압법으로 농축하여 농축액의 농도가 35°Bx에서 65°Bx가 되게 제조하였다.

점도의 측정

35~65°Bx로 농축된 무우쥬스 농축액을 원통형 점도계(Hakke Viscometer RV20, U.K.)를 이용하여 전단속

Corresponding author: Kil-Hwan Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Back Hyun-Dong, Bundang-Ku Songnam-si, Kyeonggi-do, 462-420

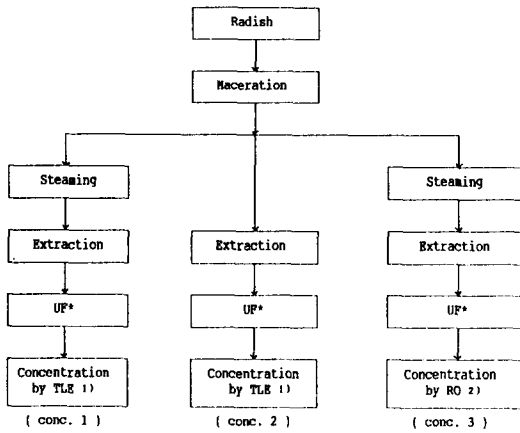


Fig. 1. Flow diagram of process used for preparation of concentrated radish juice

1) Thin layer evaporator, 2) Reverse osmosis system, *UF(Ultrafiltration)

도를 0~1000(1/S), 측정온도를 5~30°C까지 변화시키면서 점도 특성을 분석하였다. 이때 65°Bx 설탕용액을 대조구로 사용하여 겔보기 점도를 비교하여 보았다.

리올로지 특성

무우즙스 농축액의 rheological properties는 power law model 식 (1)⁽⁹⁾과 Herschel-Bulkley model 식 (2)⁽¹⁰⁾을 이용하여 점소성지수(K, consistency index, Pa.secⁿ)와 유동지수(n, flow behavior index)를 해석하였다.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{1}$$

$$\tau = C + K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{2}$$

τ : 전단응력(shear stress, Pa)

$\dot{\gamma}$: 전단속도(shear rate, 1/s)

C: 항복력(yield stress, Pa)

또한 Casson model 식 (3)⁽¹¹⁾을 이용하여 농축액의 항복력(yield stress)을 구하였으며, Arrhenius식 식 (4)⁽¹⁰⁾을 이용하여 무우즙스 농축액의 흐름거동(flow behavior)에 대한 온도의 영향을 분석하였다^(12,13).

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{C + K\sqrt{\dot{\gamma}}} \tag{3}$$

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \cdot \exp(Ea/RT) \tag{4}$$

η_{app} : 겔보기 점도(apparent viscosity, Pa.s)

η_{∞} : 무한겔보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa.s)

Ea: 유동 활성화에너지(activation energy of flow, J/kg.mol)

R: 기체상수(gas constant, J/kg.mol.K)

T: 절대온도(absolute temperature, K)

결과 및 고찰

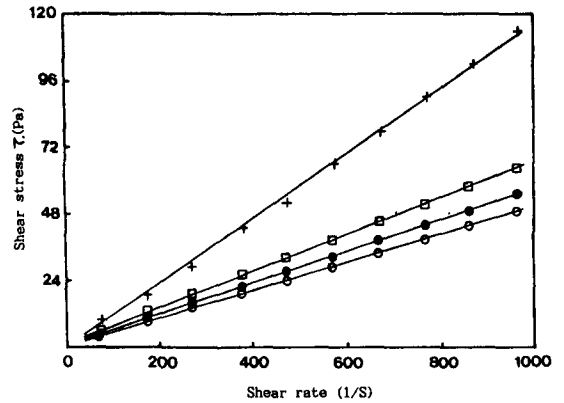


Fig. 2. Shear stress vs shear rate plot of 65°Bx concentrated radish juice, at 20°C

+--+; Sucrose solution, ○—○; Radish juice concentrated by thin layer evaporator (conc. 1), ●—●; Radish juice extracted from fresh radish and concentrated by thin layer evaporator (conc. 2), □—□; Radish juice concentrated by reverse osmosis system (conc. 3)

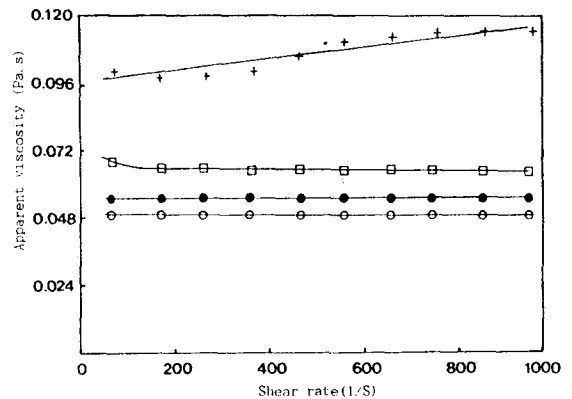


Fig. 3. Viscosity of 65°Bx concentrated radish juice, at 20°C

+--+; Sucrose solution, ○—○; Radish juice concentrated by thin layer evaporator (conc. 1), ●—●; Radish juice extracted from fresh radish and concentrated by thin layer evaporator (conc. 2), □—□; Radish juice concentrated by reverse osmosis system (conc. 3)

무우즙스 농축액의 저장성 및 활용성 증진을 위하여 역삼투압법, 박막농축법 등을 이용하여 무우즙스를 농축할 때, 가장 높은 농도인 65°Bx 농축액에 대해 농축 방법에 따른 점성을 조사한 결과는 Fig. 2, 3과 같다.

이때 대조구로서 65°Bx 설탕용액을 사용하여 Fig. 2에서와 같이 전단속도에 대한 전단응력의 변화를 관찰하였다. 전단속도를 1부터 1000(1/S)까지 증가시킬 때 전단응력은 1, 2, 3번 농축구, 65°Bx 설탕용액순으로 비례적으로 증가하였고, 항복력은 거의 나타나지 않았다. Fig. 3은 전단속도에 따른 점도변화를 측정된 것으로,

Table 1. Correlation coefficients of power law model and Herschel-Bulkley model on radish juice by thin layer evaporation

Concentration (°Bx)	Temperature (°C)	Power law model			Herschel-Bulkley model			r ²
		n (-)	k (Pa.sec ⁿ)	r ² (1)	n (-)	k (Pa.sec ⁿ)	C (Pa)	
35	5	0.9532	0.0124	0.99	0.9254	0.0119	0.0083	0.99
	10	0.9251	0.0151	0.99	0.9455	0.0132	0.0229	0.99
	15	0.9665	0.0097	0.99	0.9766	0.0910	0.0084	0.99
	20	0.9237	0.0110	0.99	0.9338	0.0099	0.0136	0.99
	25	0.9252	0.0092	0.99	0.9433	0.0081	0.0125	0.99
	30	0.9275	0.0081	0.99	0.9462	0.0071	0.0110	0.99
40	5	0.9255	0.0187	0.99	0.9352	0.0178	0.0100	0.99
	10	0.9130	0.0038	1.00	0.8915	0.0012	0.0072	0.99
	15	0.9230	0.0066	0.99	0.9120	0.0055	0.0064	0.99
	20	0.9250	0.0080	0.99	0.9299	0.0078	0.0039	0.99
	25	0.9159	0.0090	0.99	0.9362	0.0087	0.0051	0.99
	30	0.9118	0.0066	0.99	0.9169	0.0064	0.0032	0.99
45	5	0.9459	0.0170	0.99	0.9469	0.0169	0.0018	0.99
	10	0.9459	0.0170	0.99	0.9469	0.0169	0.0018	0.99
	15	0.9236	0.0131	1.00	0.9270	0.0128	0.0045	1.00
	20	0.9019	0.0127	0.99	0.9073	0.0122	0.0065	0.99
	25	0.9162	0.0095	1.00	0.9220	0.0091	0.0052	1.00
	30	1.0350	0.0038	0.99	1.0350	0.0038	0.0001	0.99
50	5	0.8669	0.0538	0.99	0.8914	0.0321	0.0184	1.00
	10	1.0030	0.0074	0.99	1.0090	0.0076	0.0034	0.99
	15	0.9654	0.0085	0.99	0.9235	0.0125	0.0068	0.99
	20	0.9569	0.0110	0.99	0.9575	0.0109	0.0007	0.99
	25	0.9620	0.0081	0.99	0.9534	0.0095	0.0031	0.99
	30	0.9410	0.0090	1.00	0.9454	0.0087	0.0040	1.00
55	5	0.9908	0.0371	1.00	0.9915	0.0370	0.0028	1.00
	10	0.9791	0.0302	1.00	0.9813	0.0298	0.0071	1.00
	15	0.9652	0.0254	0.99	0.9762	0.0125	0.0038	0.99
	20	0.9782	0.0189	1.00	0.9803	0.0186	0.0040	1.00
	25	0.9527	0.0184	0.99	0.9541	0.0182	0.0029	0.99
	30	0.9226	0.0181	0.99	0.9267	0.0177	0.0082	0.99
60	5	0.9456	0.0860	1.00	0.9507	0.0832	0.0422	1.00
	10	0.9007	0.0829	0.99	0.9081	0.0899	0.0580	0.99
	15	0.9256	0.0534	0.99	0.9351	0.0116	0.0247	0.99
	20	0.9364	0.0387	1.00	0.9411	0.0375	0.0182	1.00
	25	0.9496	0.0282	1.00	0.9550	0.0272	0.0145	1.00
	30	0.9532	0.0152	0.99	0.9435	0.0365	0.0102	0.99
65	5	0.9966	0.1660	1.00	0.9966	0.1661	0.0002	1.00
	10	0.9772	0.1279	1.00	0.9783	0.1271	0.0140	1.00
	15	0.9852	0.1231	1.00	0.9618	0.0234	0.0133	0.99
	20	0.9906	0.0617	1.00	0.9917	0.0612	0.0076	1.00
	25	0.9579	0.0568	1.00	0.9608	0.0579	0.0167	1.00
	30	0.9581	0.0439	1.00	0.9606	0.0433	0.0109	1.00

1)r²: Correlation coefficient

각 각의 농축방법에서 65°Bx 무우쥬스 농축액일지라도 모두 전단속도에 따라 거의 일정한 점도값을 나타내어 과일 청징쥬스와 같은⁽¹⁴⁾ 뉴턴유체의 아주 가까운 흐름 특성을 보여주는 것으로 판단되었다.

그러나 대조구인 65°Bx 설탕용액은 이와 달리 전단 속도가 증가함에 따라 점도가 증가하는 전형적인 비뉴턴유체의 흐름특성을 나타내었다.

이때 전단속도 1000(1/S)에서 65°Bx 농축구와 설탕

용액의 겔보기 점도는 65°Bx 설탕용액이 0.1138 Pas, 1번 농축구가 0.0503 Pas, 2번 농축구가 0.0578 Pas, 3번 농축구가 0.0655 Pas이었다.

이러한 결과는 무우쥬스 농축액이 화학적으로 순수한 설탕용액에 비하여 hydroxyl group들이 적어⁽¹⁵⁾ 점도를 상승시키는 hydrogen bonding force가 상대적으로 작기 때문에 무우쥬스 농축액이 더 낮은 점도를 나타낸 것으로 판단되었다. 또한 무우쥬스 농축액중 3번 농축구(역삼

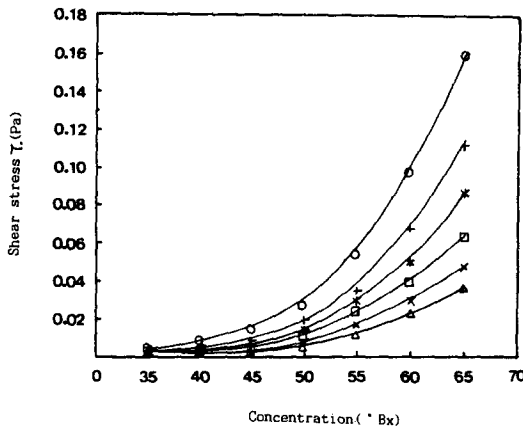


Fig. 4. Effect of concentration and temperature on apparent viscosity of radish juice concentrated by thin layer evaporator

○—○; 5°C, +—+; 10°C, *—*; 15°C, □—□; 20°C, ×—×; 25°C, △—△; 30°C

투압법에 의한 농축)의 점도가 높게 나타난 것은 역삼투농축시 염류, 유기산류, 아미노산류 등 분자량이 작은 성분 중의 일부가 역삼투막을 통하여 유출 제거되어 상대적으로 다른 농축액보다 분자량이 큰 분자들로 구성되어 있기 때문인 것으로 생각된다.

각각의 농축방법에 따라 농축된 무우주스 농축액들은 거의 비슷한 흐름 특성을 나타내었다. 대표적으로 1번 농축구의 유동특성을 power law model과 Herschel-Bulkley model에 적용시켜 본 결과는 Table 1과 같다. 이들 두 모델식에 의해 구한 유동지수(n) 값을 보면 농도나 온도에 상관없이 무우주스 농축액은 약간의 의사가소성을 나타내는 것을 알 수 있었다. Casson식에 의해 구한 항복력(C)은 0.0001~0.0580 Pa 범위의 아주 적은 값이어서 무시해도 좋을 정도였다.

따라서 65 $^{\circ}$ Bx까지 농도에 관계없이 Power law model만 적용시켜도 무우주스 농축액의 흐름특성을 해석하는 것이 가능하다고 생각되었다.

한편 무우주스 농축액의 농도와 온도변화에 따른 점도변화를 측정 한 결과, 각각의 농축방법에 따라 거의 유사한 점도변화를 나타내었다.

대표적으로 1번 농축구의 점도변화는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보면 온도가 증가함에 따라 같은 농도에서 점도는 감소하는데 55 $^{\circ}$ Bx 이상의 농도에서는 점도 감소폭이 더욱 크게 나타났다.

이와 같은 온도의 영향을 살펴보기 위하여 1번 농축구에 대해 각 농도별로 온도변화에 따른 점도를 측정하여 arrhenius식에 의해 활성화에너지를 구한 결과는 Table 2와 같다.

일반적으로 활성화에너지는 뉴턴 유체의 경우 점도를 비뉴턴 유체의 경우 일정 전단속도에서의 겔보기 점도를 바탕으로 계산하게 되는데, Table 2의 활성화에너지는

Table 2. Effect of temperature on flow behavior of radish juice concentrate by thin layer evaporator

Concentration ($^{\circ}$ Bx)	Temperature (k)	η_{app} (Pa.s)	Ea ($\times 10^4$ KJ/kg.mol)	η_{∞} ($\times 10^{-7}$ Pa.s)
35	278	0.00423	2.7057	0.36
	283	0.00378		
	288	0.00293		
	293	0.00237		
	298	0.00195		
	303	0.00169		
40	278	0.00714	2.7770	0.89
	283	0.00587		
	288	0.00482		
	293	0.00399		
	298	0.00328		
	303	0.00284		
45	278	0.00948	2.9074	0.34
	283	0.00802		
	288	0.00646		
	293	0.00505		
	298	0.00422		
	303	0.00430		
50	278	0.01850	2.9767	0.48
	283	0.01556		
	288	0.01207		
	293	0.00969		
	298	0.00788		
	303	0.00653		
55	278	0.03035	3.0781	1.35
	283	0.02843		
	288	0.01967		
	293	0.01525		
	298	0.01206		
	303	0.01015		
60	278	0.08744	3.6658	0.11
	283	0.06780		
	288	0.04994		
	293	0.03800		
	298	0.02979		
	303	0.02408		
65	278	0.15740	4.1159	0.3
	283	0.11930		
	288	0.08518		
	293	0.06259		
	298	0.04701		
	303	0.03717		

동일한 전단속도 1000(1/S)에서 무우주스 농축액의 농도가 35~65 $^{\circ}$ Bx로 높아질수록 활성화에너지가 2.7057 $\times 10^4$ KJ/kg.mol에서 4.1159 $\times 10^4$ KJ/kg.mol로 증가하는 경향을 나타내었다.

요 약

무우주스 농축액의 저장성 및 활용성 증진을 위해 역삼투압법과 박막농축법 등을 이용하여 농축한 무우주

스 농축액의 유동 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 무우주스 농축액은 약간의 의사가소성을 띠는 뉴턴유체의 흐름 특성을 보여주었다. 전단속도 1000(1/S)에서의 겔보기 점도는 1번 농축구(열처리 무우주스, 박막 농축구)가 0.0503 Pa.s, 2번 농축구(생무우주스, 박막농축구)가 0.0578, 3번 농축구(열처리 무우주스, 역삼투압 농축구)가 0.0655 Pa.s 값을 각각 나타내었다. 각 농축액의 항복력은 35~65°Bx에서 0.0001~0.0580 Pa 범위로 아주 적은 값이어서 power law model만 갖고도 흐름 특성의 해석이 가능하였으며 또한 Arrhenius식에 의해 구한 활성화에너지는 무우주스 농축액의 농도가 높아질수록 2.7057에서 4.1159×10^4 KJ/kg.mol로 증가하였다.

문 헌

1. 농업협동조합 : 농업연감. 농업협동조합중앙회, (1990)
2. 김공한, 길광훈, 전재근 : Pilot scale 연속식 김치 순간 살균 장치의 설계 및 제작. 한국식품과학회지, 16, 83 (1984)
3. 길광훈, 김공한, 전재근 : Pilot scale 연속식 김치 순간 살균 장치를 이용한 무우김치의 살균. 한국식품과학회지, 16, 95(1984)
4. 육 철, 장 금, 박관화, 안승요 : 예비 열처리에 의한 무우김치의 연화방지. 한국식품과학회지, 17, 447(1985)
5. 전재근, 목철균 : 농산물 건조용 곡면 집광식 태양열 이용장치에 관한 연구. 한국식품과학회지, 11, 258(1979)
6. 심애련, 최연호, 이서래 : 과일·채소중 말라틴은 잔유물의 세척 효과. 한국식품과학회지, 16, 418(1984)
7. 김길환, 김동만 : 과채류의 CA저장 및 무우배추를 소재로한 새로운 가공식품 개발에 관한 연구. 한국식품개발연구원 (1989)
8. 김길환, 김동만 : 무우, 배추를 소재로한 새로운 가공식품개발. 한국식품개발연구원 (1990)
9. Rao, M.A. and Anantheswaran, R.C.: Rheology of fluids in food processing. *Food Technol.*, 36, 116(1982)
10. Vitali, A.A. and Rao, M.A.: Flow properties of low-pulp concentrated orange juice effect of temperature and concentration. *J. Food Sci.*, 49, 882(1984)
11. Charm, S.E.: The direct determination of stress-shear rate behavior of foods in the presence of a yield stress. *J. Food Sci.*, 28, 197(1963)
12. Harper, J.C. and Lebermann, K.W.: Viscometric behavior of tomato concentrates. *J. Food Sci.*, 30, 470(1965)
13. Harper, J.C. and Lebermann, K.W.: Rheological behavior of pear purees. Proc. 1st. Int. Conf. *Food Sci. Technol.*, 1, 719(1962)
14. Constenla, D.T., Lozano, J.E. and Crapiste, G.H.: Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. *J. Food Sci.*, 54, 663(1989)
15. Ibarz, A., Vicente, M. and Graell, J.: Rheological behavior of apple juice and pear juice and their concentrates. *J. Food Eng.*, 6, 257(1987)

(1992년 3월 25일 접수)