Food Engineering Progress
Vol. 5, No. 3. pp. 160~164 (2001년 8월)

역삼투법에 의한 수박 쥬스의 농축

서자영 · 강현아 · 장규섭
충남대학교 농과대학 식품공학과

Concentration of Watermelon Juice by Reverse Osmosis

Ja Young Suh, Hyun Ah Kang and Kyu Seob Chang
Department of Food Science and Technology, Chungnam National University Taejeon, Korea

Abstract

The reverse osmosis(RO) system was applied to the concentration of watermelon juice with respect to the volume concentration ratio(VCR). Operating pressure of 30~60 kg_f/cm^2 and temperature of 4~25°C were used to concentrate the watermelon juice from 10 to 30 °Brix. The soluble solid was increased up to 4 of VCR and then levelled off. At the pressure of 60 kg_f/cm^2, the efficient concentration was limited to about 30 °Brix. Retention percentage of sugar in the watermelon juice that was concentrated by RO was 95% or more. Which was not influenced by operating conditions. Hunter L value was increased and Hunter a value was decreased at the pressure of 30 kg_f/cm^2. Optimal conditions in terms of processing capacity and product quality were 25°C and 50~60 kg_f/cm^2.

Key words: reverse osmosis, watermelon juice, soluble solid, hunter value, concentration

서 론

우리 나라 수박의 재배면적은 1991년 30,233 ha, 1996년 42,500 ha에 달하여 생산량이 꾸준히 증가하고 있다(이우승, 1994; 김병수 등, 1999; 강영모, 1993). 그러나, 수박의 저장성은 극히 불량하기 때문에 대부분이 생산 시기에 생식되고 있을 뿐 거의 가공되고 있지 않는 실정이다(Shin *et al.*, 1978). 지금까지 수박에 관한 연구로는 일반 성분 및 화학성분인 아미노산, 당함량 분석(Lee *et al.*, 1972), 가공적성(Shin *et al.*, 1978), 향기성분(Kim *et al.*, 1999)등이 있을 뿐이다.

최근 채소와 과일의 즙액을 이용한 과채쥬스가 특수영양식 및 성인병 예방과 관련하여 많은 관심을 불러 일으키고 있다. 그러나 이들을 이용한 가공상품으로서 천연음료는 제조·가공 공정중에 농축을 위한 열처리 과정을 거치게 되어 있어 영양 및 약리 성분이 파괴되고, 색이나 향기와 같은 기호 성분의 변화되며 부유 물질의 생성 등과 같은 문제가 제기되고 있다(변유량, 1987). 이러한 문제를 방지하기 위하여 최근 식품산업에서는 이와 같은 공정보다 효율적이며 제품의 품질 및 영양가의 손실을 줄일 수 있는 막분리 기술이 주목받고 있다. 역삼투법은 용매인 물은 선택적으로 통과시키지만 용질은 투과시키지 않는 반투막을 사용하고, 용액의 삼투압보다 큰 압력을 용액에 가하여 물만 막을 통하여 빠져나가게 함으로써 물과 용질을 분리하는 처리기술이다(Kerr *et al.*, 1985; Conrad *et al.*, 1993). 최근 이러한 장점을 가진 역삼투 공정을 이용하여 과즙 및 채소 쥬스를 농축시킨 연구보고로는 사과(Hur *et al.*, 1993; Chou *et al.*, 1991; Sheu *et al.*, 1984), 망고(Olle *et al.*, 1997), 오렌지 쥬스(Brddock *et al.*, 1991), 동치미를 이용한 이온음료 개발(Ko *et al.*, 1994), 나무즙액의 농축(Kallio *et al.*, 1985) 등이 보고되고 있다.

본 연구에서는 수박의 생산량이 꾸준히 증가하고 있는데 비해 저장성 연구와 가공식품의 개발이 빈약하여 고품질의 가공상품으로 이용되고 있지 못하는 수박의 이용성을 높이고 가공적성 및 저장성을 부여하고자 역삼투 처리기술을 적용하였다. 즉 역삼투막에 의한 수박과즙의 농축시 과즙의 온도와 공정압력에 따

Corresponding author: Kyu Seob Chang, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, 220 Gung-dong, Yusong-ku, Taejon 305-764, Korea

른 농축정도와 성분변화를 측정하였다.

재료 및 방법

수박 과즙 제조

전라북도 고창군에서 재배된 삼복수박을 선별, 세척, 비가식부를 제거한 후 파쇄, 착즙하여 -20°C에서 저장하면서 시료로 사용하였다.

Reverse Osmosis

시스템은 시료가 역삼투막으로 운송되기 전 단계에 20 μm의 예비 여과기를 통과하도록 구성하여 막의 오염을 방지하였다. 역삼투막은 Hydranautics사에서 제조한 composite polyamide 재질로 이루어진 나선형(螺線型) 막을 장착하였다. 시료는 이 나선형모듈을 통해 투과액(순수)과 배제액(농축액)으로 분리되어지며, 배제액은 계속 환류하여 농축시켰다. 막의 크기 및 특성은 Table 1에 나타내었다. 농축된 배제액(농축액)은 용적농축비별로 수거하여 품질특성을 측정하였다. 이때 용적농축비(volume concentration ratio, VCR)의 산출식은 다음과 같다(Ku *et al.*, 1997).

Table 1. Specification of the membrane module used in RO system

Type	Configuration	Spiral-wound
Material	membran polymer	composite polyamide
	maximum applied pressure	69 kg_f/cm^2
Operating condition	maximum operating temperature	45°C
	pH range	3.0-10.0
Salt rejection	minimum	99.2%
Dimension (mm)	diameter	61
	length	1016

Table 2. High performance liquid chromatography condition for free sugar quantification of watermelon juice

Items	Conditions
Detector	Refractive index detector
Column	Sugar-pak 1 (6.5×300 mm)
Column temperature	85°C
Mobile phase	Water (0.1 mM Ca-EDTA)
Flow rate	0.5 ml/min

$$VCR = \frac{\text{초 기 부 피}}{\text{잔 액 부 피}}$$

또한 본 연구에서는 공급액의 온도와 공정압력이 수박과즙의 농축에 미치는 영향을 살펴보고자, 공급액의 온도는 4, 25°C로, 공정압력은 30, 40, 50, 60 kg_f/cm^2로 설정하였다.

성분 분석

가용성 고형분의 측정은 20°C에서 굴절당도계(Atago digital refractometer PR-100, Japan)를 이용하여 oBrix로 나타내었고, 색은 spectro-colorimeter(Color Techno System Corporation model JX-777, Japan)를 이용하여 Hunter L, a, b 값으로 나타내었다. 유리당은 시료 각 5ml을 취하여 여지(Whatman #2)와 membrane prefilter (Whatman 0.45 μm)로 여과하고 Sep-pak C18 cartridge (Waters Inc, USA)로 정제한 후 HPLC (Spectra-physics Co., USA)로 분석하였다. 이 때의 분석조건은 Table 2와 같았다.

결과 및 고찰

가용성 고형분

과즙을 농축하는 목적은 농축과 부피감소에 따른 저장성의 부여에 있다. 따라서 역삼투 시스템을 이용하여 수박과즙을 농축시에 용적농축비율과 가용성 고형분의 관계를 살펴보았다. Fig. 1과 2는 공정압력과 공정온도에 따른 수박 농축액의 가용성 고형분을 용적농축비율에 따라 나타내었다. 처리공정에서 농축전 수박 착즙액의 가용성 고형분 함량은 9.2~10.3 °Brix의 범위였으며(Fig. 1), 이는 농축시 최고 약 30 °Brix까지 농축시킬수 있었으며, 용적농축비율은 약 5이었다. 공정온도 4°C에서 가용성 고형분의 농축은 VCR 1.5에서 4까지 급격한 상승을 이루었으며, VCR 4 이후로는 농축정도의 변화가 미약하여 농축한계농도에 달했음을 알 수 있었다. 반면, 공정온도 25°C(Fig. 2)에서는 VCR 1.5에서 3까지 급격한 농도의 변화가 이루어져 공정온도 4°C보다 빠른 농축이 이루어졌음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 온도의 증가에 따라 막면의 겔층저항이 감소되므로 빠른 투과플럭스를 나타내어 농축의 속도가 빨라진다는 Hur *et al.* (1998)의 보고와 일치하였다. 따라서 공정조건이 가용성 고형분 함량에 미치는 영향은 공정온도가 높고 공정압력이 높을수록 가용성 고형분 함량이 높음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 공정온도 4°C에서 시간에 따른 투과플럭스

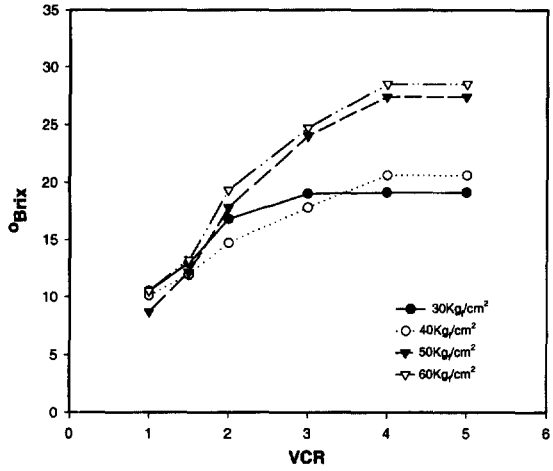

Fig. 1. Changes in soluble solid content of the watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

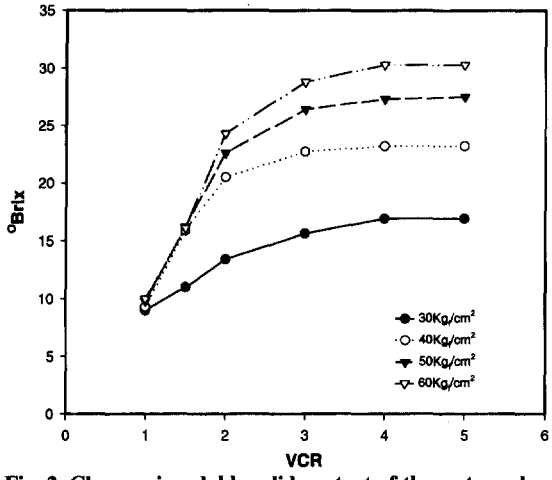

Fig. 2. Changes in soluble solid content of the watermelon juice during concentration by RO at 25°C.

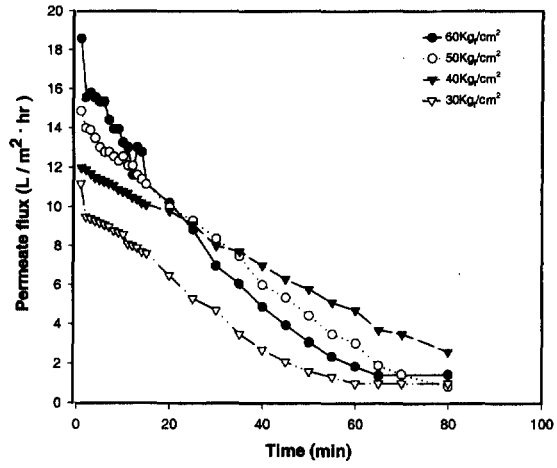

Fig. 3. Changes in permeate flux of the watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

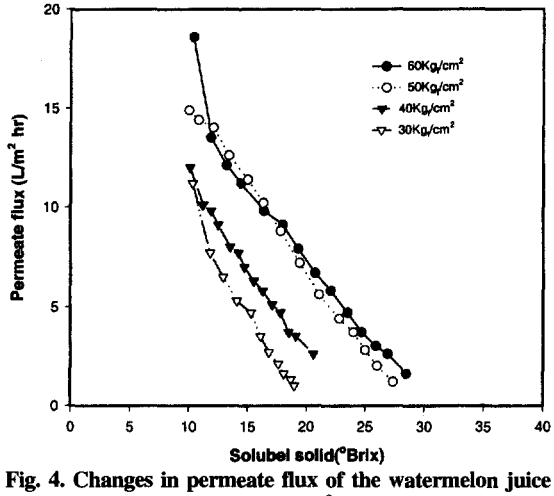

Fig. 4. Changes in permeate flux of the watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

의 변화를 나타내었다. 투과플럭스는 시간이 지남에 따라 감소하였으며, 초기 투과플럭스는 압력 60 kg_f/cm^2에서 가장 높았고, 시간 경과에 따라 공정압력 60 kg_f/cm^2에서 급격한 투과플럭스 저하를 보였다. 또한 공정 전반부에서는 공정압력이 높을 때 투과플럭스도 높았으나 농축시작 약 40분 경과후에는 이와 반대로 공정압력이 높을 때 투과플럭스가 낮아져서 40, 50, 60 kg_f/cm^2 순서가 되었으며, 가장 낮은 압력조건인 30 kg_f/cm^2에서는 공정전반과 후반 모두에서 가장 낮은 투과플럭스를 나타내었다.

Fig. 4는 공정온도 4°C에서 농축정도에 따른 투과플럭스의 변화를 나타낸 것이다. 특히 공정압력이 낮은 30과 40 kg_f/cm^2에서 투과플럭스가 급격히 저하되었고, 같은 농도에서 50과 60 kg_f/cm^2 공정압력의 투과플럭스의 절반 이상의 결과로부터 낮은 투과플럭스를 나타내었음을 알 수 있었다.

이와 연관지어 생각해 볼 때 낮은 압력조건에서 VCR은 증가하여도 가용성 고형분이 증가하지 않는 이유는 막면에 농도분극과 겔층형성이 심화되어 고형분이 빠져나오지 못하고 막면에 침착되어 투과플럭스도 저하되고 효율적인 농축이 되지 못하였던 것으로 추정된다.

색도

식품에서의 색은 성상과 기호특성에 가장 큰 영향을 주는 인자로서 중요하다. 특히 수박은 Shin *et al.* (1978)의 보고에 의하면 극히 불안정하여 24시간 이내에 액즙분리 현상이 일어나며, 90°C 이상 처리하면 황색도가 증가하여 수박쥬스의 전체적인 색택을 나쁘게

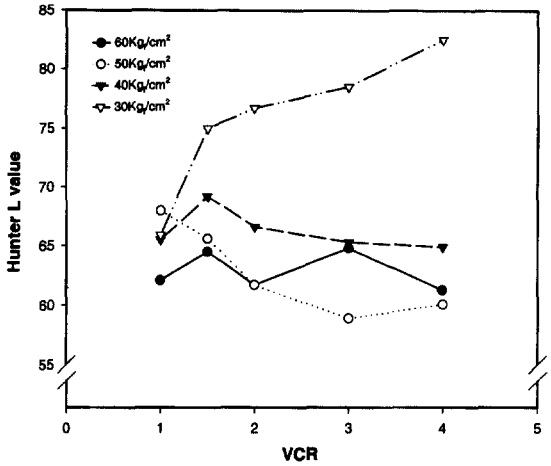

Fig. 5. Changes in Hunter L value watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

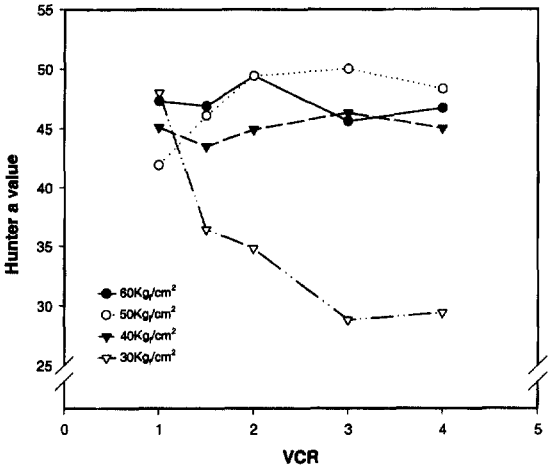

Fig. 6. Changes in Hunter value watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

하고 관능적으로도 열등하다고 보고하였다.

Fig. 5, 6, 7에는 압력별 농축이 진행됨에 따라 Hunter L, a, b 값의 변화를 나타내었다. Fig. 5는 공정온도 4°C에서 Hunter L 값을 나타낸 것으로 공정압력 60, 50, 40 kg_f/cm^2에서 대체적으로 VCR 1.5배부터 명도의 감소경향을 나타내어 농축이 진행되면서 색의 밝기도 약간 어두워지는 경향을 보였다. 그러나 공정압력 30 kg_f/cm^2 조건에서는 공정초기부터 공정종료까지 Hunter L 값이 상승하였고, 이는 육안으로도 확인이 가능하였다. Fig. 6은 각 공정압력에서 용적농축비율에 따른 Hunter a 값의 변화를 나타낸 것이다. 공정압력 40, 50, 60 kg_f/cm^2에서 처리 전부터 최종 처리 후까지 농축이 진행됨에 따라 큰 변화가 관찰되지 않았으나, 30 kg_f/cm^2 공정압력에서는 감소되는 것으로

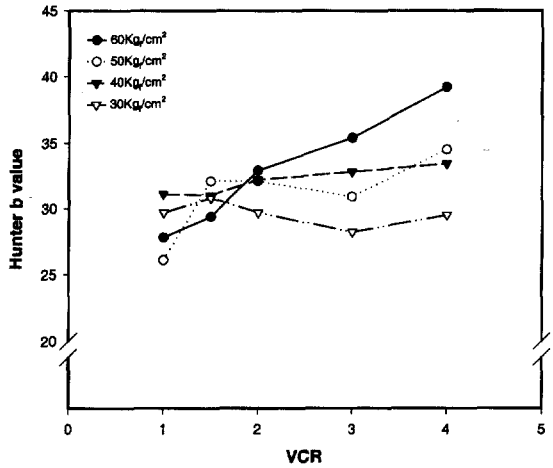

Fig. 7. Changes in Hunter b value watermelon juice during concentration by RO at 4°C.

Table 3. Retention percentage of sugar components in concentrated juice using RO system

Temp. (°C)	Pressure (Kg_f/cm^2)	Sucrose (%)	Glucose (%)	Fructose (%)	Total (%)
4	30	96.78	95.25	95.50	95.84
	40	99.02	99.02	98.56	98.87
	50	97.95	96.33	96.62	96.97
	60	99.31	98.23	98.73	98.76
25	30	98.79	98.67	97.97	98.48
	40	98.11	98.67	97.97	96.26
	50	97.89	96.79	96.06	96.91
	60	92.31	95.71	92.49	96.84

나타났다. 또한, Hunter b 값은 Fig. 7에서 보는바와 같이 농축이 진행됨에 따라 Hunter b 값이 증가하는 경향을 보였다.

이와 같이 30 kg_f/cm^2 공정조건에서의 상승현상은 공정압력이 낮아서 농축정도가 낮고 색소성분이 낮은 공정압력으로 인해 배제되지 못하고 막에 침착된 결과로 추정되었다. 따라서, 역삼투법을 이용하여 수박쥬스를 농축시 낮은 공정압력인 30 kg_f/cm^2 공정조건에서는 Hunter L값의 상승과 a값의 감소로 인하여 고유색이 손실되기 때문에 적절한 처리조건이 되지 못한다고 추정되었다.

유리당

Keiso *et al.* (1983)은 과즙에 있는 삼투압의 60~80%는 sucrose, fructose, glucose에서 유래되며 농축효율을 높이기 위해서는 과즙에 함유된 sucrose의 전화를 억제하는 것이 중요하다고 보고하였다. 한편 Lee *et*

al. (1972)은 수박에 함유되어 있는 화학성분 중 당의 함량을 조사한 결과 fructose>glucose>sucrose>maltose의 순으로 높은 함량을 나타내었다고 보고하였다. 본 실험에 사용한 역삼투 처리전 수박의 sucrose, glucose, fructose의 함량은 각각 5.96%, 4.61%, 10.11% 였다. 수박과즙의 역삼투를 이용한 농축시 당의 회수율은 Table 3에서 보는 바와 같이 95% 이상 되며, 각 공정조건은 당의 회수율에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. Kallio *et al.* (1985)은 RO 농축시 당의 회수율은 막의 재질에 따라 차이가 나며 92~100%의 높은 회수율을 보였다고 보고하였다. 따라서 역삼투 농축시 당의 회수율은 공정조건에 의해 영향을 받기보다는 막의 특성과 용질의 성질에 의하여 지대한 영향을 받는 것으로 추정되었다.

요 약

본 연구는 수박의 생산량이 꾸준히 증가하고 있는데 비해 저장성 연구와 가공식품의 개발이 빈약하여 고품질의 가공상품으로서 이용되고 있지 못하는 수박의 가공적성과 저장성 향상을 위하여 수박쥬스의 농축에 역삼투 처리기술을 적용하였다. 가용성 고형분이 9.2~10 °Brix인 수박 착즙액을 RO에 의해 20~30 oBrix 까지 농축할 수 있었고, 60 kg_f/cm^2의 공정압력에서 농축한계가 가장 높게 나타났다. 또한 공정온도로는 4°C에서 보다 25°C에서 농축이 빠르게 이루어졌다. 수박쥬스를 RO 농축시 유리당은 95%이상 회수되었으며 각 공정조건은 큰 영향을 미치지 않았다. 농축과정중의 색의 변화는 30 kg_f/cm^2 공정압력에서 Hunter L 값이 상승하였고 a값이 감소하여 이의 조건은 수박쥬스 농축시 부적절한것으로 나타났다. 수박쥬스를 RO 농축시 50 kg_f/cm^2 이상의 공정압력에서 투과플럭스와 농축효율이 높게 나타났으며, 공정온도로는 4°C 보다 25°C 공정조건이 빠른 농축도를 보여주었다.

문 헌

강영모. 1993. (육묘에서 생산, 출하까지)수박재배 기술. 오성출판사

김병수, 양동훈, 이호철. 1999. 수박 성공적 재배와 경영. 농민 신문사

변유량. 1987. 신분리공정의 식품공업에의 응용. 식품과학. **20**: 4-10

이우승. 1994. 韓國의 菜蔬. 경북대학교 출판부

Braddock, R.J., G.D. Sadler and C.S. Chen. 1991. Reverse Osmosis Concentration of Aqueous-Phase Citrus Juice Essence. *J. Food Sci.* **56**: 1027-1029

Chou, F., R.C. Wiley and D.V. Schlimme. 1991. Reverse Osmosis and Flavor Retentation in Apple Juice Concentration. *J. Food Sci.* **56**: 484-487

Conrad, K.M., M.G. Mast, H.R. Ball, G. Froning and J.H. MacNeil. 1993. Concentration of Liquid Egg White by Vacuum Evaporation and Reverse Osmosis. *J. Food Sci.* **58**: 1017-1020

Hur, S.S. and Y.H. Choi. 1993. Studies on the Efficient Concentration Process of Apple Juice with Reverse Osmosis Process(in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.* **25**: 321-326

Hur, S.S., G.J. Joo, K.S. Chang and Y.H. Choi. 1998. Characteristics of the Gel Layer Formation in the Concentraion Process of Apple Juice with Reverse Osmosis Process. *Food Engineering Progress.* **2**: 114-150

Kallio, H., T. Karppinen and B. Holmbom. 1985. Concentration of Birch Sap by Reverse Osmosis. *J. Food Sci.* **50**: 1330-1332

Keiso Fukutan and Hiroshi Ogawa. 1983. A comparison of membrane's suitability and effect of operating pressure for juice concentration by reverse osmosis. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* **30**: 636-634

Kerr, L.H., R.C. Wiley and M.J. Sheu. 1985. Solid-liquid Extraction of Mushroom Solids and Concentration by Reverse Osmosis. *J. Food Sci.* **50**: 1300-1305

Kim, K.S., H.J. Lee and S.M. Kim. 1999. Volatile Flavor Components in Watermelon(*Citrullus vulgaris* S.) and Oriental Melon(*Cucumis melo* L.). *Korean J. Food Sci. Technol.* **31**: 322-328

Ko, E.J., S.S. Hur and Y.H. Choi. 1994. Development of Ion Beverage from Dongchimi Product by Reverse Osmosis Concentration. *Korean J. Food Sci. Technol.* **26**: 573-578

Ku, K.H. D.J. Park and C.K. Mok. 1997. Soy-oligossaccharide Production from Yeast Fermented Soybean Cooking Water<Effects of Ultrafiltration and Reverse Osmosis>(in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.* **29**: 680-686, 18.

Leo, M.L.Nollet. 1996. Handbook of food analysis. Marcel dekker Inc. Vol. 1., pp.715-743

Lee, H.B., C.B. Yang and T.J. Yu. 1972. Studies on the Chemical Composition of Some Fruite Vegetables and Fruits in Korea(In Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.* **4**: 36-43

Olle, D., A. Baron, Y.F. Lozano, C. Sznaper, R. Baumes, C. Bayonove and J.M. Brillouet. 1997. Microfiltration and Reverse Osmosis Affect Recovery of Mango Puree Flavor Compounds. *J. Food Sci.* **62**: 1116-1119

Sheu, M.J. and R.C. Wiley. 1984. Influence of Reverse Osmosis in Sugar Retention in Apple Juice Concentration. *J. Food Sci.* **49**: 304-305

Shin, D.H., Y.J. Koo, C.O. Kim, B.Y. Min and K.B. Suh. 1978. Studies on the Production of Watermelon and Cantaloupe Melon Juice(in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.* **10**: 215-223