

회분식 열수추출 공정 중 용매와 용질의 비율이 대추(*Zizyphus jujuba*)의 수용성 당질 추출속도에 미치는 영향

함태훈 · 장선민¹ · 윤원병*

강원대학교 식품생명공학과, ¹영농법인 산골농장

Effects of the Ratio of Solute to Solvent on the Leaching Kinetics of Water Soluble Solids in Jujube (*Zizyphus jujuba*) Using a Hot-Water Batch System

Tae Hoon Ham, Sun Min Jang¹, and Won Byong Yoon*

Department of Food Science and Biotechnology, College of Agricultural and Life Science, Kangwon National University
¹Sangol farm Co. Ltd.

Abstract

We developed leaching kinetics models and a convective mass transfer model for water soluble solid in jujube (*Zizyphus jujuba*) fruits with hot water. Hot-water leaching process was conducted at 90°C for 100 min. The ratio of solvent (volume, mL) to solid (mass, g) was set to varied ratios of 1:6, 1:8, 1:10, and 1:12.5. The mass transfer coefficients (*k*) were determined based on the 1st- and 2nd-order kinetic models. The amount of solvent influenced the extraction rate and yield. A higher extraction rate and a higher yield were obtained from a lower solvent to solute ratio (1:6, 1:8, 1:10) compared to high ratio (1:12.5). This implies that an appropriate amount of solvent (i.e., water) is necessary to conduct the extraction process of jujube fruit.

Key words: leaching, mass transfer model, jujube, solvent ratio

서 론

대추는 갈매나무 과(*Rhamnaceae*)에 속하는 *Zizyphus* 속의 낙엽활엽교목으로 중국계 대추(*Z. jujuba* Miller)와 인도계 대추(*Z. mauritiana* Lam.) 등 생태형이 다른 2종이 재배되고 있다. 특히, 중국계 대추는 우리나라를 비롯한 아시아, 러시아 남부, 독일 등 유럽 및 캘리포니아를 중심으로 한 미국의 서남부 지역에서 재배되고 있다(Abbas et al., 1998; Song et al., 1998). 대추의 주요성분에는 당질과 ascorbic acid로 알려져 있으며, sterols, alkaloids, saponins, vitamins, 유기산류, 아미노산류 등의 약용성분을 함유하여 완화제, 이뇨제, 강장제, 담즙 증, 강정, 체력회복, 거담제, 항염증제 등의 약리효과가 있는 것으로 알려졌다(Yook, 1972).

대추의 수확 가능기간은 10일 이내이며, 낮은 저장성으로 가공처리를 필요로 하는 실정이다. 대추는 당도가 높고

열처리에 의하여 관능적으로 씹쌀한 맛이 감소되어 조리예 적용 가능성이 높은 것으로 보고되었다(Park, 2007). 따라서, 대추를 추출하여 생산된 추출물을 사용하여 가공된 다양한 제품이 생산되고 있다. 이러한 추출물에 대한 제품을 산업적인 생산을 진행할 경우, 각 공정에 대한 품질 및 수율을 최대화하는 공정 최적화가 필수적이다.

대추 가공품 제작 시 가장 핵심적인 공정은 고체-액체 열수 추출공정으로, 온도, 입자도 뿐만 아니라 용매, 용질의 비율 등이 영향을 미치게 된다. 용매와 용질의 비율은 추출공정에서 큰 영향을 미치는 인자 중 하나이다(Li et al., 2007). 따라서, 온도와 입자도 뿐만 아니라 용매와 용질의 비율 또한 최적화가 필수적이다. 추출 시 용매를 대량으로 사용할 경우 신속한 추출이 가능한 반면, 농축 시 용매회수에 대한 추가적인 비용이 소요될 수 있다. 따라서, 생산비용의 감소 및 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 공정에서의 용매와 용질의 비율을 최적화가 필수적이다. 건대추의 추출에서 추출시간, 추출온도, 에탄올 농도에 대한 최적화가 진행된 바가 있으나 용매와 용질의 비율에 대한 최적화는 진행된 바가 없다(Woo et al., 2009).

대추의 추출은 대추 과육 및 과피에서 확산이 복합적으로 발생하며, 이와 같이 복합적 추출 공정의 최적화 및 해

*Corresponding author: Won Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, College of Agricultural and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon-do, 24341, Korea
Tel: +82-33-250-6459, Fax: +82-33-241-0508
Email: wbyoon@kangwon.ac.kr
Received June 28, 2016; revised July 8, 2016; accepted July 11, 2016

석을 위한 물질전달 모델 연구가 이루어진 바 있다 (Geankoplis, 2003; Chi et al., 2006; Sayyar et al., 2009). Uhm & Yoon (2011)의 연구에서는 고압 추출의 영향을 확인하기 위하여 물질전달 모델을 도입하고 모델의 계수를 통하여 추출 특성을 비교하여, 계수를 통한 추출 속도를 계산하였으며 대두의 기름 추출에서 초고압을 적용한 경우 추출물의 물질전달속도가 증가함을 확인한 연구가 진행된 바 있다(Uhm & Yoon, 2011). 추출 공정은 요소가 섬유질과 결합되어있고 물리적 화학적 흡착으로 인하여 그 기작이 복잡하며 일반적으로 실험결과를 바탕으로 한 물질전달 모델을 통하여 해석이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 대추에 포함된 수용성 당과 고형분의 열수 추출 시의 추출 속도를 1차와 2차 kinetics 모델을 이용하여 용매(물)와 용질(대추)의 비율에 따른 물질전달을 특성화하는 수학적인 모델을 개발하였다. 또한 회분식 열수 추출공정을 적용 시 용매의 양이 대추 내부에 존재하는 수용성 당과 고형분의 추출속도 및 추출 수율에 미치는 효과를 확인하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 재료는 춘천의 재래시장에서 구매한 천일건조대추(*Zizyphus jujuba*)를 사용하였다. 대추는 상대습도 55%의 4°C에서 저장하며 2주 내에 실험하였다. 대추의 수분함량은 25%로 일정하게 유지하였다.

추출 및 분석 방법

추출은 대추 과육을 절반으로 절개하고 씨를 제거한 시료(half-cut)의 100 g을 정량하여 사용하였다. 열수와 용질의 비율은 1:6 (600 mL, w/v), 1:8 (800 mL, w/v), 1:10 (1,000 mL, w/v), 1:12.5 (1,250 mL, w/v)로 조건을 설정하였다. 항온수조(BS-11, Jeio Tech, Daejeon, Korea)를 이용하여 90°C로 가열된 용매(증류수)에 대추를 투입한 뒤 중탕하여 추출공정을 진행하였다. 열수 추출 과정 중 시간에 따른 용액 중 수용성 당질의 농도를 측정하였다. 추출물의 당질 농도는 광굴절계(PAL- α , ATAGO, Tokyo, Japan)를 사용하여 Brix (%)로 나타내었다.

물질 전달 모델: 1차 반응 kinetics

본 연구에서 주요 제어 인자인 대추 과육 및 과피 표면에서 용매로의 물질이동속도를 표현하기 위해 식 (1)을 통하여 계산하였다(Uhm & Yoon, 2011).

$$\frac{N_a}{A} = k_1(C_{as} - C_a) \quad (1)$$

N_a 는 용매에 용해되어 있는 물질 a 의 무게(kg)이고, A 는

입자의 표면적(m^2), k_1 는 물질전달계수(m/s), C_{as} 는 고체 용질 a 의 포화용해도(kg/m^3)이며, C_a 는 특정시간 t 에 용액에 포함된 a 의 농도(kg/m^3)이다. 물질수지에 의하여, 용액에서 a 의 축적속도는 식 (1)을 면적으로 곱하여 준 것과 동일하며 식 (2)와 같이 표현된다.

$$V \frac{dC_a}{dt} = N_a = Ak_1(C_{as} - C_a) \quad (2)$$

식 (3), (4)은 시간 t 일 때, 용액에서 a 의 농도를 표현하기 위하여 $t=0$ 와 $C_a=C_{a0}$ 에서 $t=t$ 와 $C_a=C_a$ 의 경계조건에서 적분하여 사용되었다.

$$\int_{C_{a0}}^{C_a} \frac{dC_a}{C_{as} - C_a} = \frac{Vk_1}{V} \int_{t=0}^t dt \quad (3)$$

$$\frac{C_{as} - C_a}{C_{as} - C_{a0}} = e^{-\left(\frac{k_1 A}{V}\right)t} \quad (4)$$

본 모델의 k_1 와 C_{as} 는 식 (4)을 Matlab (Mathworks Inc., Natick, MA, USA)을 사용하여 회귀분석을 진행하여 계산하였다. k_1 와 C_{as} 가 실험 데이터에 의하여 계산되면 식 (4)를 통하여 추출 중 시간에 따른 당질의 농도를 예측할 수 있다. 본 연구에서 용매와 용질의 비율에 따른 k_1 와 C_{as} 를 계산하였다. 식 (1), (2)는 동일한 물리적 의미를 지니며 식 (5)에 의하여 설명되는 1차 kinetics 모델이다.

$$\frac{dC_a}{dt} = k_{1e}(C_{as} - C_a) \quad (5)$$

k_{1e} 는 1차 추출속도 상수이다($1/s$). 식 (2)는 비정상상태에서 속도 C_a 가 상수로 표현되어 1차 kinetics 모델과 차이가 존재한다(A/V). 비정상상태에서 속도 C_a 는 식 (5)의 좌항과 같다. 1차 kinetics 모델에서 생성속도는 시스템의 농도 차이에 비례한다는 것을 나타내므로, 본 시스템의 물질이 동기작은 용액의 농도 차이라는 하나의 구동력으로 표현할 수 있다.

물질 전달 모델: 2차 반응 kinetics

고체-액체 추출 공정을 평가하기 위해서 2차 반응 kinetics 모델을 사용하였다. 당질이 대추로부터 추출되기에는 두 단계가 요구된다. 첫 번째 단계에서는 낮은 농도의 용매로 인한 농도 구배를 통하여 용해가 발생하여 대부분의 당질이 빠르게 추출된다. 두 번째 단계에서 추출 공정은 용액의 용질 농도가 증가하여 농도 구배에 의한 외부 확산 속도가 감소된다. 본 모델은 고체 조직에 포함되어있는 당질의 물질전달의 내부 저항을 위하여 고려되었으며 Wiese & Snyder (1987)에 의하여 콩 기름의 연속 추출공정에서 사용되었다. 2차 속도 법칙 중, 당질을 포함하는 고체 조직에서 당질이 용액으로의 용해의 속도는 식 (6)을

이용하여 설명이 가능하다(Sayyar et al., 2009).

$$\frac{dC_a}{dt} = k_2(C_{as} - C_a)^2 \quad (6)$$

$k_2(\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s})$ 는 2차 추출 속도 상수이다. 카놀라 기름의 추출공정, 콩기름의 연속식 추출 공정, 올리브의 추출공정의 kinetics와 기작에 관한 연구는 진행된 바 있다(So & Macdonald, 1986; Wiese & Snyder, 1987; Meiziane & Kadi, 2008).

추출 수율

추출물의 농축 후 Brix로 정량화되는 수용성 당질과 그 외의 성분들에 대한 최종 수율을 초기에 사용된 대추의 소모량 대비 농축물의 생산량으로 식 (7), (8)에 의하여 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{Weight of concentrate (g)} \\ = B_t \times \frac{\text{Volume of solution (mL)}}{100} \times \frac{100}{75} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{Yield of Extraction} = \frac{\text{Weight of concentration (g)}}{\text{Weight of sample (g)}} \times 100 \quad (8)$$

B_t 는 시간 t 에서 추출물의 Brix (%)이다.

최종 제품에 포함된 수용성 당질의 목표 농도는 상용화된 제품에 근거하여 75 Brix로 계산하였다. 각 비율의 추출 수율은 540 min을 기준으로 비교하였다.

통계처리

SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 샘플 간 차이를 분석하기 위해서 일원분산분석(ANOVA)을 사용하였으며, Tukey법을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 사후검증을 진행하였다.

결과 및 고찰

포화용해도(C_{as})에 용매의 양이 미치는 효과

대추의 열수추출공정에서 용매와 용질의 비율이 포화용해도에 미치는 효과를 확인하였다. 대추의 열수 추출 중 용액의 당질의 농도는 Fig. 1에 나타내었다. 용매의 양이 적을수록 추출물의 Brix는 높게 나타났다. Fig. 1에서 높은 비율(12.5)에서 나타난 낮은 농도는 회분식 반응기에서 추출된 용액의 단위부피에 포함된 당질의 양을 나타내어주기 때문에 최종 생산물의 낮은 당질의 양을 나타내어주지 않는다. 반응기에서 높은 양의 용매(1:12.5)과 적은 양의 용매(1:6)에서 같은 양의 당질을 포함할 시 높은 양의 용매(1:12.5)에서 상대적으로 낮은 농도의 당질로 나타난다. Fig. 1에 나타난 당질의 농도는 낮은 비율(1:6)에서 높은 비율(1:12.5)와 비교하여 2.23 배 높은 수치를 나타내었다. 0 min에서부터 240 min에 해당하는 초기의 높은 추출 속

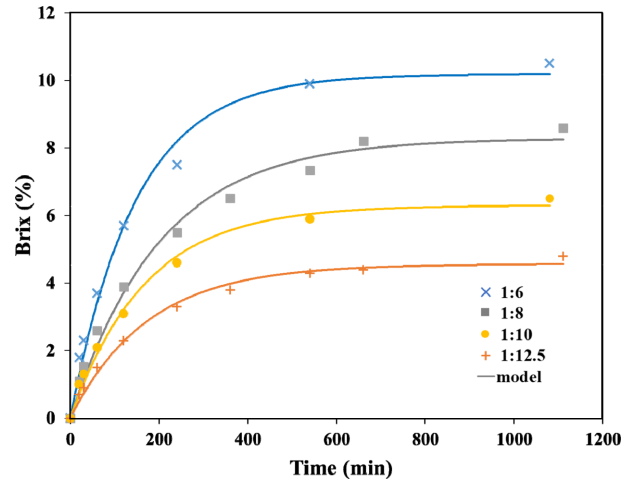


Fig. 1. Changes in water soluble sugar in jujube fruit in brix during hot water extraction.

도는 용매가 고체 조직에 침투하는 속도와 용질이 조직을 통하여 이동하는 속도가 높은 것을 의미한다.

각 비율의 포화용해도(C_{as})는 1:6, 1:8, 1:10, 1:12.5에서 각각 101.9, 82.8, 63.0, 45.6 g/L로 나타났다. 1:12.5의 비율에서 1:6의 비율보다 많은 용매의 양을 포함하기 때문에 1:6 비율의 용액에서의 당질의 농도가 높다. 용매의 양이 증가할수록 포화용해도 또한 감소하였다. 당의 추출 수율은 사용된 단위 질량(1 g)당 생산된 대추 농축물(75 Brix)의 양의 백분율로 정의되었다(Fig. 2). 본 연구에서 C_{as} 는 대추의 단위 질량당 추출된 당의 농도로 정의되었고, 추출 중 최대의 수율로 추출된 농도를 의미한다.

물질전달모델링: 1차 반응 kinetics

식 (5)에 의하여 계산된 물질전달계수는 회귀분석을 이용하여 계산할 수 있다. 식 (5)는 미분방정식이며 $t=0$ 와 $C_a=C_{a0}=0$ 의 경계조건을 사용하여 적분을 하게 되면 식 (9), (10), (11)과 같은 하기의 대수적인 수식을 유도할 수 있다.

$$\frac{C_{as}-C_a}{C_{as}-C_{a0}} = \exp\left(-k_1 \cdot \frac{A}{V}\right)t \quad (9)$$

$$1 - \frac{C_a}{C_{as}} = \exp\left(-k_1 \cdot \frac{A}{V}\right)t \quad (10)$$

$$\ln\left(1 - \frac{C_a}{C_{as}}\right) = -k_1 \cdot \frac{A}{V} \cdot t \quad (11)$$

물질전달 계수는 추출 시간과 $\ln(1 - C_a/C_{as})$ 의 그래프에서 선형 기울기로서 계산이 가능하다. 회귀분석 결과는 Fig. 2에 나타내었으며 k_1 과 R^2 값은 Table 1에 나타내었다. 임의의 시간에서 추출 농도(C_a)는 Fig. 2의 결과를 통하여 측정할 수 있고, Table 1에 나타난 물질전달계수는 내부적인 저항이 낮고 물질 전달이 농도차이에 의하여 발생한다

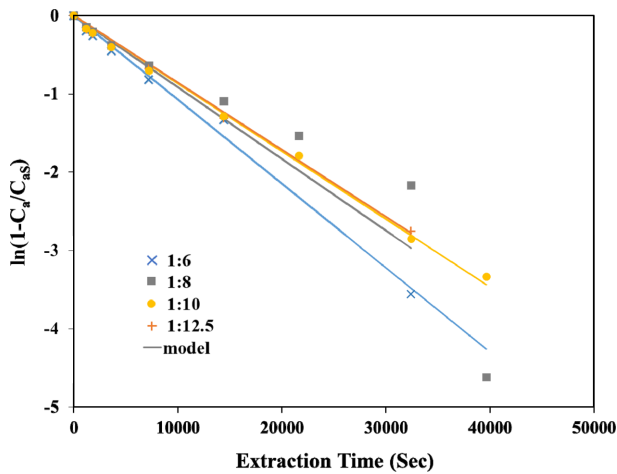


Fig. 2. Curve fitting to determine the k_1 upon the solid (g) to solvent (mL) ratio of jujube extraction. R^2 values of each curve fitting were shown in Table 1. C_{as} = the saturation solubility; C_a = the water soluble solids concentration at time t .

Table 1. k_1 (m/s) and R^2 upon the solid to solvent ratio of jujube extraction were obtained from the regression analysis

Solid to solvent (g/mL)	k_1 (m/s)	R^2
1:6	1.076×10^{-4}	0.9927
1:8	0.917×10^{-4}	0.9511
1:10	0.867×10^{-4}	0.9949
1:12.5	0.859×10^{-4}	0.9967

고 가정하여 계산하였으며 모든 실험군의 모델에서 계산된 R^2 가 0.95 이상으로 타당한 가정임을 보여주었다. 이와 같이 내부저항이 무시될 수 있는 주요 원인은 Half-cut 대추의 내부의 저항이 낮은 조직이 용매에 직접적으로 노출되어 당질이 용이하게 추출되기 때문으로 추정된다. 용매에 추출되는 용질의 속도를 나타내는 k_1 값은 용매의 양이 증가할수록 감소하였다. Table 1에서의 k_1 값은 비율에 따라 근소한 차이를 보이나 낮은 비율일수록 k_1 값이 높은 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 용매의 양이 k_1 에 큰 영향을 주지 않는다는 결론을 내릴 수 있다. 시간에 따라 추출되는 양이 차이가 없어 추출 수율이 유사한 결과를 나타낸다고 할 수 있다. 이것은 Fig. 2의 결과와 동일하다고 판단된다. Uhm & Yoon (2011)의 연구결과와 비교하여 매우 낮은 k_1 값을 나타내며 이 결과는 대두에서의 기름 추출과 비교하여 추출에 필요한 시간요구량이 많은 것을 의미하며 추출의 속도가 느린 것을 의미한다.

물질전달모델링: 2차 반응 kinetics

식 (6)에 의하여 정의된 물질 전달 상수는 적분 후 대수식으로 정리되며, 이는 시간의 역수를 독립변수로 한 회귀 분석을 통하여 계산된다. 미분 방정식은 경계조건을 $t = 0$ 과 $C_a = C_{a0} = 0$ 로 하여 적분하면 아래의 식 (12)와 같은 선형대수방정식으로 유도할 수 있다.

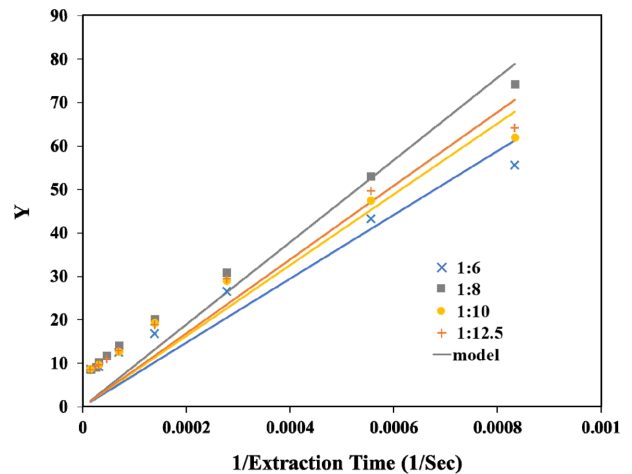


Fig. 3. Comparison of experimental data and the 2nd-order kinetics curves for the control with different ratio of solid to solvent of jujube extraction. $Y = C_{as}/C_a - 1$, where C_{as} = the saturation solubility; C_a = the water soluble solids concentration at time t .

Table 2. k_2 ($m^3/kg \cdot s$) and R^2 upon the solid to solvent ratio of jujube extraction were obtained from the regression analysis. The curve fitting was performed based on the 2nd-order reaction kinetic model presuming that the transferring remainder of water soluble solids into the water after quick extraction of dissolved solute is the rate determining step

Solid to solvent (g/mL)	k_2 ($m^3/kg \cdot s$)	R^2
1:6	1.24×10^{-9}	0.9051
1:8	1.58×10^{-9}	0.9177
1:10	3.01×10^{-9}	0.9222
1:12.5	5.00×10^{-9}	0.9104

$$\int \frac{dC_a}{(C_{as} - C_a)^2} = \frac{A}{V} k_2 dt \tag{12}$$

$$\frac{C_{as}}{C_a} - 1 = \frac{1}{C_{as} \frac{A}{V} k_2} \cdot \frac{1}{t} \tag{13}$$

물질 전달 상수 (k_2)는 $C_s/C_{as} - 1$ 과 $1/t$ 의 그래프의 기울기로 정의된다. 분석 결과는 Fig. 3에 나타내었으며, k_2 와 R^2 는 Table 2에 나타내었다. R^2 값이 높아 Wiese & Snyder (1987)가 언급하였던 “기름의 난추출성”과 동일한 결과임을 설명할 수 있다. 이 저자들은 대두의 분말과 박편 사이의 연속 공정에서의 추출 속도의 차이를 연구하였으며, 박편의 경우 파열되지 않은 조직으로 인하여 낮은 수율과 추출 속도가 관찰되었다. 유사한 결과로 Sayyar et al. (2009)는 자트로파 종자로부터의 추출 공정을 순차적인 2단계로 설명하였다. 해당 저자는 두 번째 단계가 조직에 함유되어 있는 기름성분으로 인하여 낮은 물질 전달이 이루어지며, 추출 기작의 경험적인 데이터로부터 2차 kinetics 모델이 적합하다고 표현하였다. 본 결과는 Uhm & Yoon (2011)의

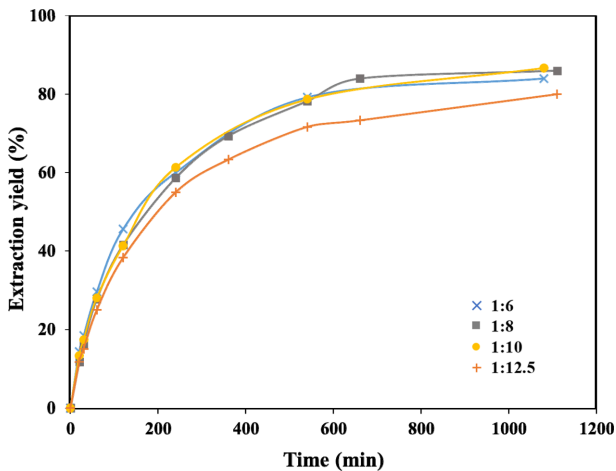


Fig. 4. Changes in extraction yield of jujube syrup during leaching at different ratio of solvent.

용매의 비율에 따라 k_2 값이 감소하는 결과와 동일한 결과로 측정되었다. 용매와 용질의 비율이 감소할수록 증가하는 k_1 과는 달리 k_2 에서는 감소하였다. 본 결과는 k_1 은 추출 속도와 비례하여 증가하는 반면, k_2 는 추출 속도와 반비례하여 비율에 따라 감소하는 것을 의미한다. 또한 1차 kinetics 모델과 비교하였을 때, 1:6과 1:12.5에서 4.03 배에 달하는 큰 차이를 나타내었다.

추출 수율

추출 농도로부터 식 (7), (8)에 의하여 계산된 각 시간에서의 추출 수율을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 1에서와 달리 대부분의 농도에서 시간에 따른 최종 생산물의 수율은 큰 차이를 나타내지 않았으나, 최고비율(1:12.5)에서 낮은 수율을 나타내었다. Fig. 4에서 모든 비율의 용액에서 540 min에서의 추출속도가 현저히 감소하여 포화되는 결과를 보였다. 추출수율을 통하여 회분식 반응기에서 추출되는 당질의 양의 정량이 가능하다. 시간에 따른 추출 수율은 시간에 따라 고체 조직을 투과하여 당질이 배출되는 양을 나타낸다. 따라서, 최종 생산물의 양을 나타내며 용매와 용질의 상이한 비율에서 시간에 따른 동일한 추출 수율은 당질의 추출 속도가 동일하다는 것을 의미한다. 낮은 비율(1:6, 1:8, 1:10)에서 같은 추출 수율을 나타내어 동일한 추출 속도를 나타낸다고 해석할 수 있다. 용매의 양이 증가할수록 당질의 포화용해도가 증가하여 포화에 도달하는 시간이 지연되어 농도 구배에 따른 속도가 높다. 본 연구에서 낮은 비율(1:6, 1:8, 1:10)에서 같은 속도를 나타낸 것으로 판단된다. 그러나 1:12.5에서는 시간에 따라서 다른 비율과 비교하여 큰 차이가 관찰되었고, 최대용해농도에 도달하지 못하기 때문으로 판단된다. 1:12.5에서는 다른 비율과 비교하여 유사한 추출 속도를 보인다고 판단되나, 수율의 측면에서는 유의적으로 낮은 결과가 관찰되었다.

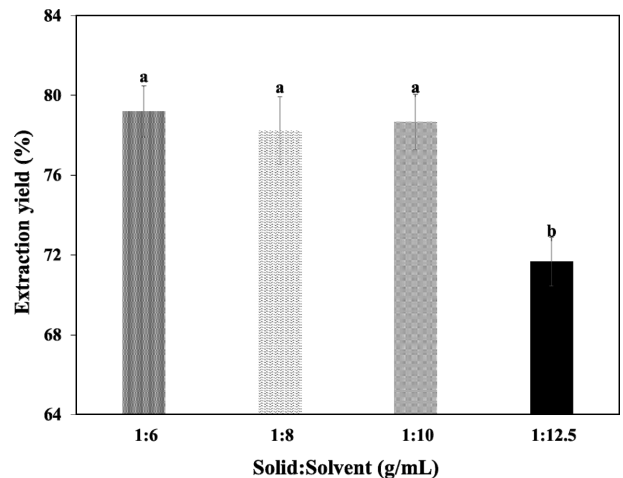


Fig. 5. Yield of jujube syrup at different ratio of jujube to solvent. Yield was calculated from the concentration of sugar at 540 min of leaching.

Uhm & Yoon (2011)은 비율에 따른 대두에서 기름의 수율을 확인하였고 본 연구의 1:12.5를 제외한 결과와 유사한 결과로 비율에 따른 큰 변화가 존재하지 않았으나 본 연구에서는 1:12.5에서 유의적으로 낮은 수율을 나타내었다(Fig. 5).

용매 비율의 효과를 확인하기 위하여 생산속도를 고려하여 가장 효율적인 540 min에서의 최종 생산물의 수율을 비교하였다. 추출시간 540 min에서의 추출 수율은 모든 비율에서 최대로 증가한 값을 나타내었으며, Fig. 5에서 나타내었다. 추출 시간 540 min에서 비율 1:6, 1:8, 1:10에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 1:12.5에서는 유의적으로 더 낮은 수율을 나타내었다($p < 0.05$). Li et al. (2007)은 대추의 당함량을 페놀 황산법을 통하여 확인하였고 건량기준 74.44%의 당을 함유하고 있음을 확인하였으며, 본 연구에서 1:6, 1:8, 1:10의 540 min에서의 수율에서 58.96%가 추출된 것으로 계산된다. 본 공정에 적용된 열수 추출에서 열수가 최대 용해할 수 있는 당의 함량이 58.96%인 것으로 판단되며 이는 대추가 지니는 당의 총량이 추출되지 않고 총량이 추출되기 전 대추의 조직과 추출 용액 사이의 동적 평형이 이루어진 것으로 판단된다. Uhm & Yoon (2011)의 연구에서 대추가 지니는 모든 기름이 추출되었지만, 본 연구에서는 대추가 지니는 당의 함량으로 인하여 평형이 이루어져 모든 구성성분이 추출되지 않은 것으로 판단된다. 본 연구의 Fig. 5에서 낮은 비율(1:6, 1:8, 1:10)에서는 유의적인 차이를 보이지 않았으나 높은 비율(1:12.5)에서 유의적으로 낮은 수율을 나타내었다. 따라서 1:12.5를 사용하는 것은 수율이 낮아 비효율적이며, 낮은 비율에서는 같은 당질의 양이 추출되고 추가된 용매를 회수하기 위하여 추가 비용이 사용되는 과량의 용매가 사용될 경우를 제외한 최적 비율은 1:6으로 판단된다.

요 약

추출 수율에서 낮은 비율의 용매에서 유의적인 차이를 나타내지 않았으나, 1:12.5의 비율에서 유의적으로 낮은 추출 수율을 나타내었다. 이 결과로 보아 1:12.5의 비율은 최종 제품의 생산에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 물질전달 계수는 1차 kinetics 모델에서 추출속도와 비례하여 용매와 용질의 비율이 증가함에 따라 감소하였지만 2차 kinetics 모델에서는 추출속도와 반비례하여 용매와 용질의 비율이 증가함에 따라 증가하였다. 물질전달모델은 2차에서 더욱 큰 차이를 나타내었다. 낮은 비율의 용매에서 같은 수율을 보인 이유는 높은 용매의 양에서와 같이 낮은 용매의 양 또한 대추가 포함하는 당질의 전체를 추출할 수 있기 때문으로 판단된다. 용매의 양이 증가할수록 농축 시 용매의 회수에 필요한 비용이 증가하기 때문에 낮은 용매의 양을 사용하여야 한다. 이 결과로 미루어보아 최적의 용매와 용질의 비율은 1:6인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력 기술개발사업(기업부설연구소 신규설치, C0239083)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

Abbas MF, Al-Niami, Al-Ani RF. 1998. Some physiological characteristics of fruits of jujube different stage of maturity. *J. Hort.*

- Sci.* 63: 337-339.
- Chi R, Tian J, Gao H, Zhou F, Liu M, Want C, Wu Y. 2006. Kinetics of leaching flavonoid from *Pueraria Lobata* with ethanol. *Chin. J. Chem. Eng.* 14: 402-406.
- Geankoplis CJ. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles*, 4th ed. Prentice Hall, New York, USA, p. 724-760.
- Li JW, Fan LP, Ding SD, Ding XL. 2007. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube. *Food Chem*, 103: 454-460.
- Meizane S, Kadi H. 2008. Kinetics and thermodynamics of oil extraction from olive cake. *Am. Oil Chem. Soc.* 85: 391-396.
- Park BH. 2007. Physicochemical properties of jujube paste and quality characteristics of Yanggaeng added jujube paste. Ph.D. thesis. Sejong Univ. Korea.
- Sayyar S, Abidin ZZ, Yunus R, Muhammad A. 2009. Extraction of oil from *Jatropha* seeds optimization and kinetics. *Amer. J. Appl. Sci.* 6: 1390-1395.
- So GC, Macdonald DG. 1986. Kinetics of oil extraction from *Canola* (rapeseed). *Can. J. Chem. Eng.* 64: 80-86.
- Song J, Lee KS, Kang HA, Chang KS. 1998. Storage stability of fresh jujube fruits (*Zizyphus Jujuba* Miller). *J. Korean Food Sci. Technol.* 30: 272-277.
- Uhm JT, Yoon WB. 2011. Effects of high-pressure process on kinetics of leaching oil from soybean powder using hexane in batch systems. *J. Food Sci.* 76: 444-449.
- Wiese KL, Snyder HE. 1987. Analysis of the oil extraction process in soybeans: a new continuous procedure. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 64: 402-406.
- Woo KS, Lee SH, Noh JW, Hwang IG, Lee YR, Park HJ, Lee JS, Kang TS, Jeong HS. 2009. Optimization of extraction conditions for dried jujube by response surface methodology. *J. Korean Soc. Food Sci. and Nutr.* 38: 244-251.
- Yook CS. 1972. Screening test on the components of the genus *Zizyphus* in Korea. *Korean J. Pharmacog.* 3: 27-29.