

이온성 액체를 이용한 바이오매스 추출에 의해 얻어진 추출물의 건조 방법

김슬기 · 김진현[†]

공주대학교 화학공학부
31080 충남 천안시 서북구 천안대로 1223-24
(2015년 10월 7일 접수, 2015년 12월 17일 수정본 접수, 2015년 12월 22일 채택)

Method for Drying of Crude Extract Obtained by Biomass Extraction Using an Ionic Liquid

Seul Ki Kim and Jin-Hyun Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 1223-24, Cheonan-daero, Seobuk-gu, Cheonan, Chungnam, 31080, Korea

(Received 7 October 2015; Received in revised form 17 December 2015; accepted 22 December 2015)

요 약

이온성 액체를 보조용매로 이용할 경우 바이오매스로부터 파클리탁셀의 추출 효율은 획기적으로 개선되지만 잔류 이온성 액체로 후속 농축 및 건조에 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 공정 효율 향상을 위하여 이온성 액체를 이용한 바이오매스 추출물을 효과적으로 건조할 수 있는 새로운 방법을 개발하였다. 추출물을 물로 전처리하고 추가적으로 세척함으로써 잔류 이온성 액체 제거를 통해 효과적으로 건조할 수 있었다. 물 전처리를 위한 최적의 시료/물 비, 혼합시간 및 추가세척을 위한 최적의 시료/물 비는 각각 1:70 (w/v), 4분, 1:100 (w/v)이었다. 또한 진공 건조보다 마이크로웨이브를 이용한 건조의 경우 건조시간을 9배 정도 단축 가능하여 공정 효율이 획기적으로 개선될 것으로 판단된다.

Abstract – When using an ionic liquid as co-solvent, the extraction efficiency of anticancer agent paclitaxel from biomass was dramatically improved. However, the residual ionic liquid had a significant negative effect on convenient and feasibility of following concentration and drying steps. In this study, a novel method was developed for the effective drying of the crude extract obtained from biomass extraction with ionic liquid. The residual ionic liquid was easily and conveniently removed by drying alone after pre-treatment and additional washing of a sample with water. The optimal crude extract/water ratio and mixing time for pre-treatment and crude extract/water ratio for additional washing were 1:70 (w/v), 4 min, and 1:100 (w/v), respectively. In the microwave-assisted drying process, the drying time was 9-fold shorter than in the vacuum oven drying process.

Key words: Paclitaxel, Extraction, Residual ionic liquid, Removal, Drying

1. 서 론

이온성 액체(ionic liquid, IL)는 양이온과 음이온의 이온결합으로 이루어진 염 화합물로서 100 °C 이하의 비교적 낮은 온도에서 액체 상태로 존재하는 이온성 염이다[1,2]. 이온성 액체는 상압에서 아주 낮은 증기압으로 존재하여 낮은 휘발성, 비폭발성, 고온에서도 안정적인 액체로 존재하는 높은 열적 안정성으로 인해 “청정 용매(green solvent)”라고 불린다[3]. 또한, 이온성 액체는 다양한 무기물, 유기물, 고분자 물질을 용해시킬 수 있고, 소수성, 용해도, 점도, 밀도 등의

물리화학적 특성을 쉽게 변화시킬 수 있다[4]. 이온성 액체는 기존의 유기용매가 지니지 못하는 다양한 특성을 나타낼 뿐 아니라 사용자의 목적에 맞는(task-specific) 용매를 선택하고 합성할 수 있다는 장점을 가지고 있다[5]. 이러한 특성을 이용하여 최근에 이온성 액체를 이용한 다양한 적용과 연구가 이뤄지고 있다. 이온성 액체는 주 추출 용매로서 극성공유분자(polar covalent molecule, PCM)에 이온성 액체를 보조용매(co-solvent)로 사용할 경우 추출 효율이 상당히 향상됨을 알 수 있었으며, 특히 메탄올의 경우에는 이온성 액체와 혼합이 잘 이루어져 주 추출용매로서 선택성이 매우 높다[6].

2013년 Severa 등[7]에 의하면 *Jatropha* biomass로부터 phorbol ester와 bio-oil을 추출하기 위해 이온성 액체([C₂mim][MeSO₄] 또는 [C₂mim][Ac])를 보조용매로 사용하였으며, 2014년 Chen 등[8]에 의하면 *Populus* bark로부터 배당체(glycoside)를 추출하기 위해 이온성 액체([C₄mim]BF₄)를 보조용매로 사용하였다. 또한 2015년

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jinhyun@kongju.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kim & Kim [9,10]에 의하여 식물세포배양으로부터 회수한 바이오매스(식물세포)로부터 항암물질 파클리탁셀(paclitaxel)을 효율적으로 추출/회수하기 위하여, 이온성 액체([Bmim]BF₄)를 보조용매로 사용하였다. 전통적인 유기용매 추출(conventional solvent extraction, CSE) 공정에서 주 추출용매인 메탄올만으로 바이오매스 추출을 수행한 경우에 비해 주 추출용매에 보조용매로 이온성 액체를 첨가하여 바이오매스 추출을 수행하면 추출 효율이 더 향상됨을 알 수 있었다. 하지만 보조용매로 이온성 액체를 사용할 경우 바이오매스 추출 후에 이온성 액체가 완전히 제거되지 않으면 후속 분리/정제 공정을 수행하는데 많은 어려움이 발생한다. 또한 바이오매스 추출 후 이온성 액체가 포함된 추출액을 농축/건조하는데 어려움이 있어 공정 중 물질(in-process material) 분석이 어려워 공정의 원활한 수행이 어렵다. 기존 문헌에 의하면 추출물에 존재하는 미량의 이온성 액체는 물을 이용하여 세척하는 방식으로 제거하였다[7,8,10]. 하지만 구체적인 세척 방법 및 최적 조건에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 주 추출용매인 메탄올과 보조용매인 이온성 액체(1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate, [Bmim]BF₄)를 이용하여 바이오매스로부터 파클리탁셀을 추출할 경우, 추출물(crude extract)에 포함되어 있는 미량의 이온성 액체를 효과적으로 제거하여 추출물의 농축 및 건조를 용이하게 할 수 있는 물 전처리 방법을 구체적으로 제시하고자 하였다. 또한 물 전처리 공정에서의 주요 공정변수인 crude extract/물 비, 교반 시간, 추가 물 세척 유무 및 방법에 따른 영향을 조사하였으며 물 전처리 후 빠른 건조를 위해 마이크로웨이브를 이용한 건조(microwave-assisted drying) 방법을 도입하여 그 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 식물재료

본 실험에 사용된 식물세포배양액은 *Taxus chinensis*의 잎으로부터 얻은 세포주를 이용하여 배양하였다[11]. *Taxus chinensis*로부터 기원된 현탁액 세포는 24 °C 암조건에서 150 rpm으로 교반하여 배양하였다. 현탁 세포는 수정된 Gamborg's B5 배지[12], 30 g/L sucrose, 10 µM naphthalene acetic acid, 0.2 µM 6-benzylamino purine, 1 g/L casein hydrolysate, 1 g/L 2-(N-morpholino) ethanesulfonic acid에서 배양하였다. 세포 배양은 2주마다 새로운 배지로 갈아주었으며 배양 시간을 연장시키기 위해 7일과 21일 째 되는 날에 1~2% (w/v)의 maltose를 첨가해 주고 elicitor로서 배양초기에 4 µM의 AgNO₃를 첨가해 주었다. 식물세포배양 후 배양액으로부터 decanter (Westfalia, CA150 Clarifying Decanter)와 고속원심분리기(α -Laval, BTPX205GD-35CDEEP)를 이용하여 식물세포와 세포조각(cell debris)을 회수하였다. 회수한 식물세포와 세포조각을 합하여 바이오매스라 하며 (주) 삼양제맥스로부터 제공받았다.

2-2. 추출 실험 및 시료 준비

이온성 액체를 보조용매로 사용한 바이오매스 추출 효율을 조사하기 위하여, 기존 문헌[9,10]에 보고된 방법으로 식물세포배양액으로부터 회수한 바이오매스(식물세포)와 메탄올의 비를 1:1 (w/v), 메탄올과 이온성 액체([Bmim]BF₄)의 비를 1:0.166 (w/w)로 하여 실온에서 30분 동안 교반 하에서 1회 추출하였다[9]. 추출 후에 여과지 (150 mm, Whatman)로 감압 여과하여 추출 여액을 회수하고 rotary

evaporator (CCA-1100, EYELA, Japan)를 이용해 40 °C에서 농축하고, 진공 오븐(UP-2000, EYELA, Japan)에서 건조하여 이온성 액체 첨가 유무에 따른 추출 효율을 조사하였다. 또한 이온성 액체가 미량 포함되어 있는 추출물(crude extract)을 이용하여 물 전처리 및 물 세척 방법 개발 및 조건 최적화 실험에 이용하였다.

2-3. 이온성 액체 제거 공정

이온성 액체가 포함된 바이오매스 추출물에 물(증류수)을 첨가하여 혼합한 후 여과지(185 mm, Whatman)에 감압 여과하였다. 여과된 추출물을 물로 세척하여 추가 물 세척 유무의 영향, crude extract과 세척 물의 비(1:80, 1:90, 1:100, 1:110, w/v)의 영향을 조사하였다. Crude extract과 세척 물의 비를 고정하고 물 전처리 과정에서의 crude extract와 첨가하는 물의 비(1:60, 1:70, 1:80, 1:90, w/v)의 영향, 교반 시간(2, 4, 6, 8 분)에 따른 영향을 조사하였다. 물 전처리 공정과 추가 물 세척 공정이 끝난 후 진공오븐을 이용해 40 °C에서 건조하고 HPLC (high performance liquid chromatography)로 분석하여 파클리탁셀의 수율을 계산하였다. 이온성 액체 제거에 따른 건조 여부는 전자현미경(SV-35 Video Microscope System, Some Tech., Korea)을 이용하여 시료를 고배율($\times 100$)에서 관찰하였다.

2-4. 파클리탁셀 분석

파클리탁셀의 함량을 분석하기 위해서 HPLC system (SCL-10AVP, Shimadzu, Japan)을 사용하였다. 이동상으로는 acetonitrile/water (35:65~65:35, v/v, gradient mode)를 사용하였고, column은 Capcell Pak C₁₈ (250 $\times$ 4.6 mm, Shiseido, Japan)을 사용하였다. 유속은 1.0 mL/min, 시료 주입량은 20 µL이었고, UV detector를 사용하여 227 nm에서 분석하였다[13]. 파클리탁셀 표준물질은 Sigma-Aldrich 제품(순도: 98.7%)을 사용하였다.

2-5. 마이크로웨이브를 이용한 건조

물 전처리와 추가 물 세척 후 회수한 시료를 효율적으로 건조하기 위하여, 마이크로웨이브를 이용한 건조와 진공 오븐을 이용한 건조에서 건조에 소요되는 시간을 비교하였다. 마이크로웨이브 장치(2450 MHz Model 1501, Korea Microwave Instrument Co., Korea)를 사용하였으며 마이크로웨이브 전력은 300 W로 고정하였다. 진공 오븐의 건조 온도는 40 °C로 고정하였다. 건조는 총 300 분 동안 수행하였으며 30 분 간격으로 시료를 채취하여 무게를 측정하고 건조 시간에 따른 무게 변화를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 물 전처리 및 추가 물 세척 공정 개발

일반적으로 전통적인 유기용매 추출 방법은 긴 추출시간, 많은 유기용매 사용량, 낮은 추출 효율 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 이온성 액체를 도입한 추출 방법에 대한 연구가 많이 진행되고 있다[7-10,14,15]. 바이오매스(식물세포)로부터 항암물질 파클리탁셀 추출의 경우, Fig. 1에서 보는 바와 같이 주 추출용매인 메탄올만을 이용하여 바이오매스 추출을 수행한 경우 1회 30분 추출로 75%의 파클리탁셀을 회수할 수 있는 반면에 이온성 액체 [Bmim]BF₄를 보조용매로 첨가한 경우는 1회 30분 추출로 90%의 파클리탁셀을 회수할 수 있었다. 즉, 이온성 액체를 보조

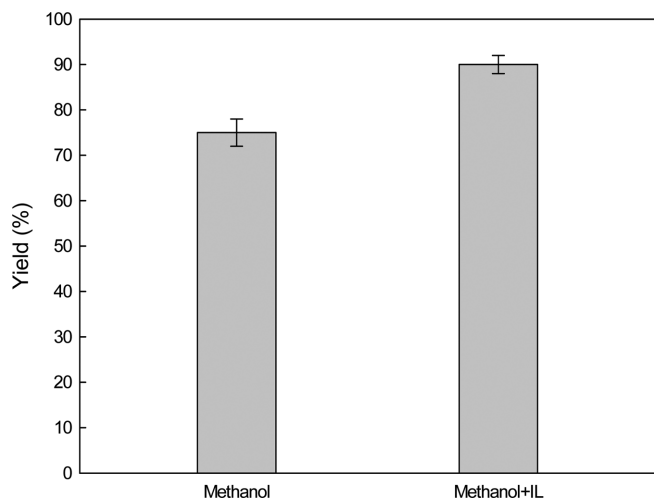


Fig. 1. Effect of ionic liquid as co-solvent on the extraction yield of paclitaxel. The type of ionic liquid, extraction solvent ratio of ionic liquid to methanol, ratio of solvent to biomass, temperature, and extraction number were [Bmim]BF₄, 0.166:1 (w/w), 1:1 (v/w), room temperature, and 1, respectively.

용매로 사용하여 바이오매스를 추출할 경우 추출시간과 추출횟수를 단축시킬 수 있어 파클리탁셀 추출 효율이 향상되었다. 이러한 결과는 기존 문헌[9,10]에 보고된 연구결과와 일치함을 알 수 있었다. 하지만 추출액의 농축 과정에서 이온성 액체가 완전히 제거되지 않아 후속 분리/정제 공정을 수행하기에 큰 어려움이 따른다. 2013년 Severa 등 [7], 2014년 Chen 등 [8], 2015년 Kim & Kim [10]에 의하면 추출 시 이온성 액체를 보조용매로 도입한 경우, 추출물에 존재하는 미량의 이온성 액체를 물로 세척하여 제거하였지만 구체적인 세척 조건 및 방법은 제시되지 않고 있는 실정이다. 파클리탁셀은 극성용매인 물에 잘 용해되지 않는 특성을 가지고 있는 반면 이온성 액체 [Bmim]BF₄는 물에 비교적 잘 용해되는 특성을 가지고 있다[10,16]. 이러한 특성을 이용하여 본 연구에서는 물을 이용하여 파클리탁셀 손실은 최소화하면서 이온성 액체만을 효과적으로 제거하기 위한 물 전처리 방법과 최적 조건을 제시하고자 하였다.

바이오매스 추출물(crude extract)에 존재하는 이온성 액체를 제거하기 위하여 물 전처리(물을 첨가하고 교반한 후 여과하는 방식)를 수행하였다. 물 전처리 후 추가적인 물 세척 유무에 따른 영향을 Fig. 2(A)-Fig. 2(D)에 나타내었다. 추가적인 물 세척 없이 crude extract/물 비율 1:5 (w/v) (Fig. 2(A)), 1:100 (w/v) (Fig. 2(B)), 1:600

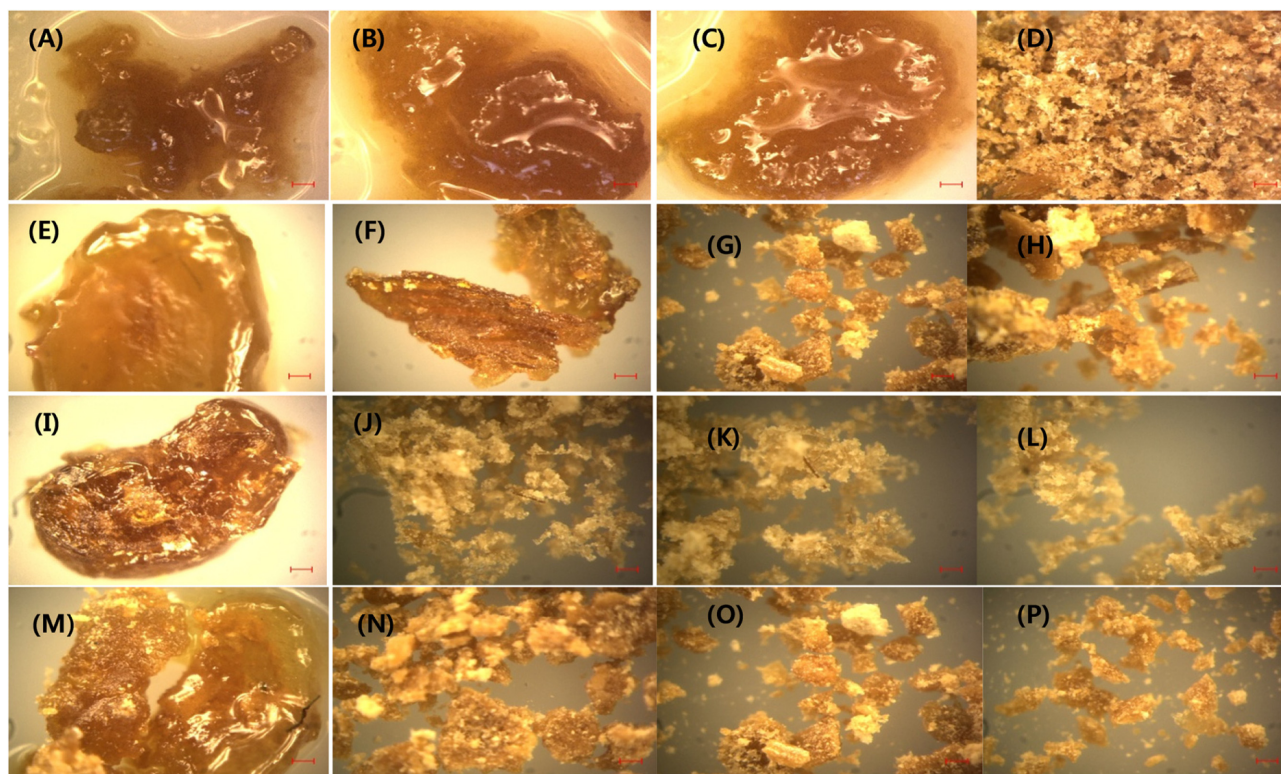


Fig. 2. Electron micrograph of the crude extract after drying. (A): without additional water washing after pre-treatment with water (crude extract/water ratio: 1:5, w/v), (B): without additional water washing after pre-treatment with water (crude extract/water ratio: 1:100, w/v), (C): without additional water washing after pre-treatment with water (crude extract/water ratio: 1:600, w/v), (D): with additional water washing after pre-treatment with water (crude extract/water ratio: 1:100, w/v) and mixing for 30 min (crude extract/water ratio for additional water washing=1:100, w/v), (E) crude extract/water ratio (1:80, w/v) for additional water washing, (F) crude extract/water ratio (1:90, w/v) for additional water washing, (G) crude extract/water ratio (1:100, w/v) for additional water washing, (H) crude extract/water ratio (1:110, w/v) for additional water washing at fixed crude extract/water ratio (1:100, w/v) and mixing time (30 min) for pre-treatment with water, (I) crude extract/water ratio (1:60, w/v), (J) crude extract/water ratio (1:70, w/v), (K) crude extract/water ratio (1:80, w/v), (L) crude extract/water ratio (1:90, w/v) for water pre-treatment before additional water washing (crude extract/water ratio for additional water washing: 1:100, w/v), (M) mixing time: 2 min, (N) mixing time: 4 min, (O) mixing time: 6 min, and (P) mixing time: 8 min after water addition for pre-treatment at fixed crude extract/water ratios (1:70, w/v) and 1:100, w/v) for pre-treatment with water and additional water washing, respectively. Scale bar indicates 100 μ m.

(w/v) (Fig. 2(C))로 변화시키고 충분히 교반(30분)한 후 여과한 결과, crude extract에 포함된 이온성 액체가 효과적으로 제거되지 못하여 시료가 충분히 건조되지 않았다. 반면 물 전처리(crude extract/물 비: 1:100, w/v) 후 추가적인 물 세척(crude extract/물 비: 1:100, w/v)의 경우(Fig. 2(D)), 이온성 액체가 효과적으로 제거되어 시료가 충분히 건조되었다. 따라서 이온성 액체를 효과적으로 제거하기 위해서는 물 전처리 후에 반드시 추가 물 세척 공정이 요구됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 물 전처리 공정에서 이온성 액체가 용해되어 1차 제거되고, 물 전처리 공정 후에 잔류하는 이온성 액체는 추가 물 세척을 통해 2차 제거되는 것으로 판단된다.

3-2. 물 전처리 및 추가 물 세척 공정 최적화

Crude extract로부터 이온성 액체를 제거하기 위하여, 물 전처리 후 추가 물 세척이 반드시 필요하다는 것을 알 수 있었다. 추가 물 세척 공정을 최적화하기 위해서, 물 전처리를 위한 crude extract/물 비 (1:100, w/v)와 혼합 시간(30 분)은 동일하게 하고, 추가 물 세척을 위한 crude extract/물 비를 1:80 (w/v) (Fig. 2(E)), 1:90 (w/v) (Fig. 2(F)), 1:100 (w/v) (Fig. 2(G)), 1:110 (w/v) (Fig. 2(H))로 각각 변화시켜 실험을 수행하였다. Fig. 2(E)~Fig. 2(H)에서 보는 바와 같이 crude extract/물 비가 1:100 (w/v)부터 이온성 액체가 효과적으로 제거되어 시료가 충분히 건조되었다. 세척 물의 양이 증가할수록 파클리카셀 수율은 미미하게 감소하였다(data not shown). 이러한 결과는 증류수에 녹을 수 있는 최대 파클리카셀 농도가 7 ppm 이하로 매우 낮기 때문이다[17]. 또한 crude extract/물 비 1:100 (w/v)로 추가 물 세척한 시료를 건조할 경우 시료의 순도 및 수율 측정이 용이하여 공정 중 중간물질의 품질관리를 위한 정량 분석에 전혀 어려움이 없었다. 따라서 추가 물 세척을 위한 최적의 crude extract/물 비는 1:100 (w/v)으로 선정하였다.

물 전처리 과정에서 사용하는 물의 양을 최소화하기 위하여, crude extract 대비 혼합/여과에 필요한 첨가하는 물의 비를 1:60 (w/v)

(Fig. 2(I)), 1:70 (w/v) (Fig. 2(J)), 1:80 (w/v) (Fig. 2(K)), 1:90 (w/v) (Fig. 2(L))으로 변화시켜 실험을 수행하였으며, 추가 물 세척 공정에서의 crude extract와 세척 물의 비율을 1:100 (w/v)으로 고정하였다. Fig. 2(I)~Fig. 2(L)에서 보는 바와 같이 물 전처리를 위한 crude extract/물 비가 1:70 (w/v)부터 이온성 액체가 효과적으로 제거되어 시료가 충분히 건조되기 시작하였다. 따라서 물 전처리 과정에서 최소량의 물을 첨가하면서 이온성 액체를 제거할 수 있는 최적의 crude extract와 첨가하는 물의 비율은 1:70 (w/v)으로 판단되었다.

물 전처리 공정에서의 교반 시간에 따른 영향을 조사하기 위하여 crude extract와 첨가하는 물의 비율은 1:70 (w/v), crude extract와 세척 물의 비율은 1:100 (w/v)으로 고정하고 교반 시간을 2 분(Fig. 2(M)), 4 분(Fig. 2(N)), 6 분(Fig. 2(O)), 8 분 (Fig. 2(P))으로 변화시켜 실험을 수행하였다. Fig. 2(M)~Fig. 2(P)에서 보는 바와 같이 교반 시간이 4 분부터 이온성 액체가 효과적으로 제거되기 시료가 충분히 건조되었다. 따라서 최적의 교반 시간은 4 분으로 선정하였다. 이러한 결과는 물을 첨가한 후 crude extract로부터 이온성 액체를 용해시키는데 최소한의 시간이 요구되는 것으로 판단된다.

3-3. 마이크로웨이브 이용한 건조에서 건조시간에 따른 영향

상기의 최적화된 조건을 바탕으로 이온성 액체 제거 공정(물 전처리 및 추가 세척 공정)을 거친 후 회수한 시료를 건조하는 과정에서 마이크로웨이브 사용에 따른 영향을 조사하였다. 마이크로웨이브를 사용하여 건조하는 경우와 진공 오븐을 사용하여 건조하는 경우로 나누어 건조를 수행하였다. 마이크로웨이브의 전력은 300 W로 고정하였고[18], 진공 오븐의 건조 온도는 40 °C로 고정하여 각각 30 분씩 총 300 분 동안 건조를 수행하면서 건조 시간에 따른 무게 변화를 확인하였다. Fig. 3(A)에서 보는 바와 같이 마이크로웨이브를 이용한 건조는 건조 30 분까지 급격하게 무게가 감소하였으며 30 분 이후부터 무게 변화가 거의 없었다. 반면 진공 오븐을 이용한 건조는 건조 270 분까지 서서히 무게가 감소하였으며 270 분 이후부터 무게

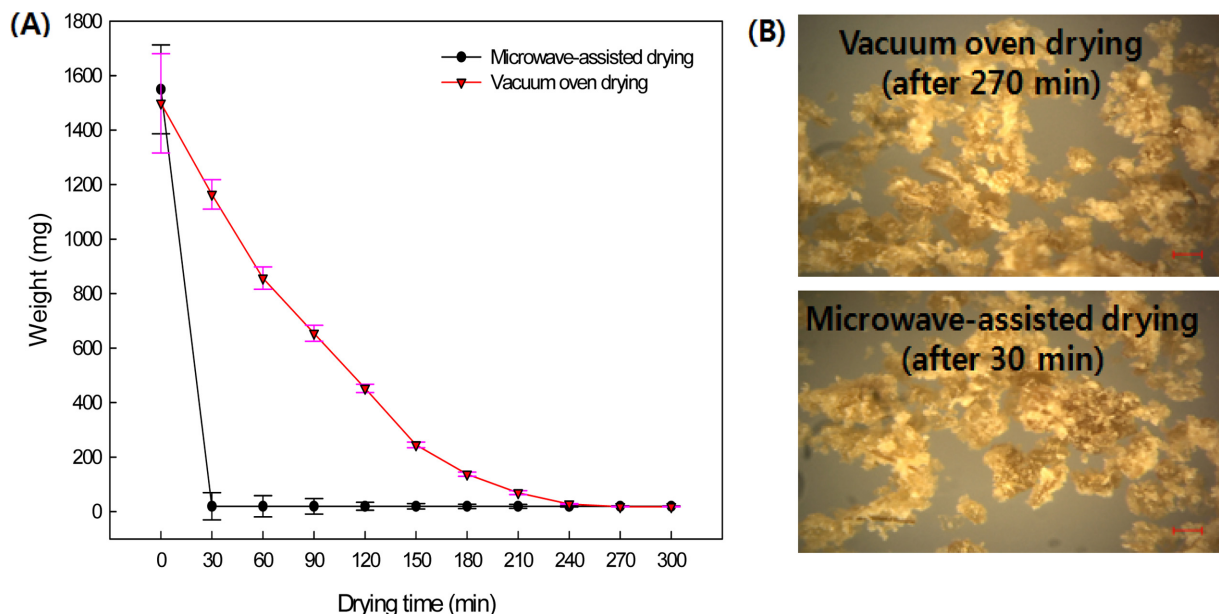


Fig. 3. Effect of vacuum oven drying and microwave-assisted drying on the drying time (A) and drying behavior (B). The crude extract/water ratio and mixing time for pre-treatment with water were 1:70 (w/v) and 4 min, respectively. The crude extract/water ratio for additional water washing was 1:100 (w/v). Scale bar indicates 100 μ m.

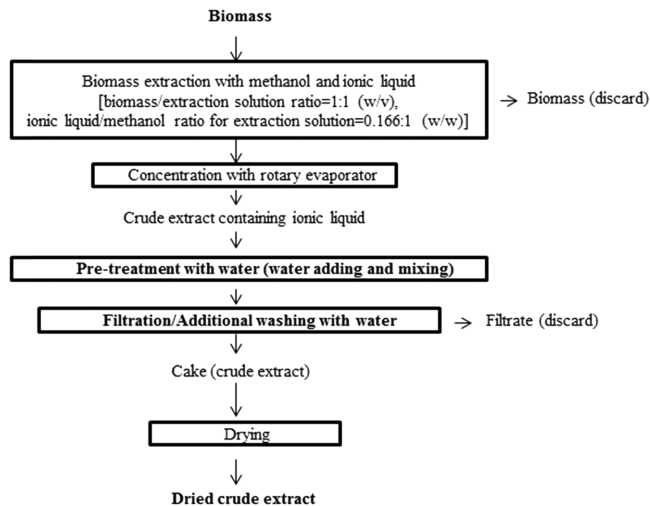


Fig. 4. Proposed method for drying of crude extract obtained by biomass extraction using ionic liquid-methanol co-solvents.

변화가 거의 없었다. 마이크로웨이브를 이용한 건조는 진공 오븐을 이용한 건조에 비해 건조 시간을 9배 정도 더 단축시킬 수 있었다. 이러한 결과는 전기장에서 복사에너지인 전자기복사(electromagnetic radiation) 축적 능력을 나타내는 물의 유전율(dielectric constant)과 흡수된 마이크로웨이브 에너지를 물질 내부에서 열로 전환되는 효율을 나타내는 유전손실률(dielectric loss factor)과 연관이 있는 것으로 판단된다[19,20]. 즉, 마이크로웨이브의 경우 빠른 속도로 물 분자에 도달하며 전파 형태로 흡수되어 열을 발생시킴으로써 빠른 속도로 건조된다. 또한 Fig. 3(B)에서 보는 바와 같이 마이크로웨이브를 이용한 건조(건조시간: 30 분)와 진공 오븐을 이용한 건조(건조 시간: 270 분) 모두 시료가 충분히 건조됨을 확인할 수 있었다. 결과적으로 마이크로웨이브를 이용한 건조는 물 분자를 직접적으로 가열함으로써 진공 오븐을 이용한 건조보다 건조 시간이 단축되며 더 효율적인 방법임을 알 수 있었다[20]. 이상에서 정립된 이온성 액체 제거 방법을 Fig. 4에 종합하여 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 이온성 액체를 보조용매로 사용하여 바이오매스를 추출 한 후 회수한 추출물로부터 파클리탁셀의 손실을 최소화하면서 잔류하는 이온성 액체를 효과적으로 제거하여 시료를 충분히 건조할 수 있는 방법을 개발하였다. 또한 주요 공정 변수들(crude extract/물 비, 교반 시간, 추가 물 세척 유무 및 방법)의 영향을 조사하여 최적의 조업 조건을 제시하였다. 물 전처리(물을 첨가하고 혼합/여과)만 수행한 경우 이온성 액체가 충분히 제거되지 않았으며, 물 전처리 후 추가 물 세척을 수행한 경우 이온성 액체가 효과적으로 제거되었다. 추가 물 세척 과정에서 crude extract와 세척 물의 비율이 1:100 (w/v)부터 이온성 액체가 제거되어 시료를 건조 가능하였다. 물 전처리 과정에서 crude extract와 첨가하는 물의 비율이 1:70 (w/v), 교반 시간 4 분에서 이온성 액체가 효과적으로 제거되어 시료가 충분히 건조되었다. 이상의 결과로부터 이온성 액체를 제거하기 위해서는 물 전처리 후 추가 물 세척 공정이 반드시 수행되어야 함을 알 수 있었다. 이온성 액체 제거 공정을 거친 후 마이크로웨이브를 이용하여

건조를 수행한 결과 진공 오븐을 이용한 건조의 경우보다 건조 시간이 9배 정도 단축되었으며 마이크로웨이브를 이용한 건조가 더 효율적임을 알 수 있었다.

감 사

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과물입니다(과제번호: 2015016271).

References

1. Moon, Y. H., Lee, S. M., Ha, S. H. and Koo, Y. M., "Enzyme-catalyzed Reactions in Ionic Liquid," *Korean J. Chem. Eng.*, **23**, 247-263(2006).
2. Parvulescu, V. I. and Hardacre, C., "Catalysis in Ionic Liquid," *Chem. Rev.*, **107**, 2615-2665(2007).
3. Sheldon, R. A., Lau, R. M., Sorgedraeger, M. J. and van Rantwijk, F., "Biocatalysis in Ionic Liquids," *Green Chem.*, **4**, 147-151(2002).
4. Freemantle, M., "Designer Solvents-ionic Liquids May Boost Clean Technology Development," *Chem. Eng. News*, **76**, 32-37(1998).
5. Ha, S. H., "Applications and Prospects of Ionic Liquids In Microbiology and Biochemical Engineering," *Korean J. Microbiol. Biotechnol.*, **41**, 1-7(2013).
6. Young, G., Nippgen, F., Titterbrandt, S. and Cooney, M. J., "Lipid Extraction from Biomass Using co-solvent Mixtures of Ionic Liquids and Polar Covalent Molecules," *Sep. Purif. Technol.*, **72**, 118-121(2010).
7. Severa, G., Kumar, G., Troung, M., Young, G. and Cooney, M. J., "Simultaneous Extraction and Separation of Phorbol Esters and Bio-oil from *Jatropha* Biomass Using Ionic Liquid-methanol Co-solvent," *Sep. Purif. Technol.*, **116**, 265-270(2013).
8. Chen, F., Mo, K., Liu, Z., Yang, F., Hou, K., Li, S., Zu, Y. and Yang, L., "Ionic Liquid-based Vacuum Microwave-assisted Extraction Followed by Macroporous Resin Enrichment for the Separation of the Three Glycosides Galicin, Hyperin and Rutin from *Populus Bark*," *Molecules*, **19**, 9689-9711(2014).
9. Kim, G. J. and Kim, J. H., "Development of a Simultaneous Extraction and Acid Hydrolysis Process for Recovery of Paclitaxel From Plant Cell Cultures," *Process Biochem.*, **50**, 279-284(2015).
10. Kim, G. J. and Kim, J. H., "Enhancement of Extraction Efficiency of Paclitaxel From Biomass Using Ionic Liquid-methanol co-solvents Under Acidic Conditions," *Process Biochem.*, **50**, 989-996(2015).
11. Choi, H. K., Adams, T. L., Stahlhut, R. W., Kim, S. I., Yun, J. H., Song, B. K., Kim, J. H., Hong, S. S. and Lee, H. S., "Method for Mass Production of Taxol by Semi-continuous Culture with *Taxus chinensis* Cell Culture," U.S. Patent No. 5,871,979(1999).
12. Gamborg, O. L., Miller, R. A. and Ojima, K., "Nutrient Requirements of Suspension Cultures of Soybean Root Cells," *Exp. Cell Res.*, **50**, 151-158(1968).
13. Lee, C. G. and Kim, J. H., "Optimization of Adsorbent Treatment Process for the Purification of Paclitaxel from Plant Cell Cultures of *Taxus chinensis*," *Korean Chem. Eng. Res.*, **52**, 497-502(2014).
14. Kim, Y. H., Choi, Y. K., Park, J., Lee, S., Yang, Y. H., Kim, H. J., Park, T. J., Kim, Y. H. and Lee, S. H., "Ionic Liquid-mediated Extraction of Lipids from Algal Biomass," *Bioresource Tech-*

- nol.*, **109**, 312-315(2012).
15. Ji, Y., Chen, J., Lv, J., Li, Z., Xing, L. and Ding, S., "Extraction of Keratin with Ionic Liquids from Poultry Feather," *Sep. Purif. Technol.*, **132**, 577-583(2014).
 16. Lee, H. J., Lee, J. S., Ahn, B. S. and Kim, H. S., "Technology Trend in Ionic Liquids," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**, 595-602 (2005).
 17. Kim, J. H. and Hong, S. S., "Recovery of Paclitaxel from Suspension Culture Medium with Hydrophobic Resin," *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **15**, 366-369(2000).
 18. Lee, J. Y. and Kim, J. H., "Microwave-assisted Drying of Paclitaxel for Removal of Residual Solvents," *Process Biochem.*, **48**, 545-550(2013).
 19. Drouzas, A. E. and Tsami, E., "Microwave/vacuum Drying of Model Fruit Gels," *J. Food Eng.*, **39**, 117-122(1999).
 20. Lee, J. Y. and Kim, J. H., "Effect of Water Content of Organic Solvent on Microwave-assisted Extraction Efficiency of Paclitaxel from Plant Cell Culture," *Korean J. Chem. Eng.*, **28**, 1561-1565 (2011).