

Mineral extraction from by-products of brown rice using electro dialysis and production of mineral salt containing lower sodium

Nam-Doo No¹, Eun-Jung Park², Mi-Lim Kim^{3*}

¹Department of Herbal Food Science, Graduate School of Daegu Hanny University, Gyeongsan 38578, Korea

²Science and Engineering Research Institute, Uiduk University, Gyeongju 38004, Korea

³Department of Herbal Food Cuisine and Nutrition, Daegu Hanny University, Gyeongsan 38578, Korea

전기투석을 이용한 현미부산물로부터의 미네랄성분 추출 및 나트륨감량형 미네랄 소금 제조

노남두¹ · 박은정² · 김미림^{3*}

¹대구한의대학교 대학원 한방식품학과, ²위덕대학교 산업기술연구소,

³대구한의대학교 한방식품조리영양학부

Abstract

The purpose of this study was to develop a supplemental healthy food that can help prevent high blood pressure-related diseases caused due to the excessive consumption of sodium in salt. This was achieved by using ion-displacement techniques to produce mineral salt with lower sodium content by using fermented brown rice by-products rich in minerals. Mineral salt containing 2019.2 mg/100 g of potassium, 678.5 mg/100 g of magnesium, 48.7 mg/100 g of calcium, and 19.5 mg/100 g of sodium was obtained by fermenting brown rice by-products to create a culture medium for the mineral salt. Mineral salt containing 1769.7 mg/100 g of potassium, 573.6 mg/100 g of magnesium, 35.3 mg/100 g of calcium, and 19.5 mg/100 g of sodium was obtained by filtering and refining the by-product extract of fermented brown rice. The results showed that when the stream velocity of the instrument used for electrolysis was 200 mL/min and the current and the concentration of the reactive liquid in the purified water chamber were higher, the effect of electrolysis was greater. Ion hot water extraction of the fermented brown rice by-products improved by up to 95% and was collected as purified water within 90 min of the reaction time. Chloride ions with pH 7.4 were produced by mixing sodium hydroxide in a purified saline water chamber with electro-analyzed water. The salt produced in this study contained low sodium, 5.7~30%, as compared to 40% sodium content of the normal salt.

Key words : low-sodium salt, mineral salt, electrolysis, ion replacement, electro dialysis

서 론

쌀을 주식으로 하고 있는 우리나라는 쌀 가공의 부산물이 많이 발생한다. 현미 도정 과정 중에서 얻어지는 부산물

인 미강은 현미의 약 8~10% 정도로 연간 385,000톤가량의 미강이 부산물로 얻어지나 이중 30%만이 미강유 제조에 재활용되고 나머지는 사료나 유기비료로 이용되고 있어 활용도가 매우 낮은 실정이다(1). 미강에는 식이섬유뿐만 아니라 gamma amino butyric acid(GABA), 비타민 B군, 비타민 E 및 Ca, P, Mg, F와 같은 미네랄 등이 다량 함유되어 있으며 다양한 생리적 기능을 지닌 것으로 알려져 있다(2-4). 특히 미강에는 K 함량이 높아 이온치환을 위한 생식물 배지 조건에 적합하며 폐기되는 부산물을 사용함으로써 비용의 절감효과 부분에서도 효과를 얻을 수 있을 것으로

*Corresponding author. E-mail : mlk8742@dhu.ac.kr
Phone : 82-53-819-1492, Fax : 82-53-819-1843
Received 13 October 2015; Revised 16 November 2015;
Accepted 16 November 2015.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

사료된다.

미강은 여러 우수한 기능성을 가지고 있음에도 불구하고 체내에서 세포벽 성분인 hemicellulose를 분해할 수 없다는 한계점으로 다양한 가공방법을 통해 이를 극복하고자 하고 있다. 발효공법에 의한 미강 발효추출물의 항산화 및 미백 효과를 확인하거나(5) 기능성 쌀 품종의 미강 발효산물의 항염, 항알러지, 항암 활성을 검증하는 등의 연구가 최근 보고되고 있다(6). 발효물질은 천연물질 고분자를 생전환시켜 저분자 물질의 구조로 분해되어 체내 흡수율을 높일 뿐 아니라 생체 이용률을 증가시키는 장점이 있음은 잘 알려져 있으나 미강 발효 여부에 따른 미네랄 획득수율에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구를 통하여 발효에 따른 미강추출물에서의 미네랄함량 변화를 살펴보았다.

소금은 음식의 맛을 내는 기능 외에 가장 중요한 Na의 공급원으로 세포 외액에 가장 많이 존재하는 양이온이며, 사람의 혈액 중 약 0.9% 정도 함유되어 있는 소금은 생체 내에서 무기물 소재로 산-염기평형, 세포막 전위의 조절, 세포막에서의 물질 이동 등 생리적 기능을 수행할 뿐만 아니라 음식의 저장성을 부여하는데 중요한 역할을 하고 있다(7,8). 소금은 Na와 Cl이 주성분이지만 K, Ca, Mg, SO₄ 등의 많은 미네랄이 혼합되어 있으며 이러한 무기질 중 K, Mg 및 Ca 등은 혈압을 낮추는 효과가 있다고 알려져 있다(8). 우리나라는 식생활에서 장류, 김치 등의 섭취빈도가 높아 소금의 섭취 수준이 높은 편이며, 된장과 김치 등이 생활습관으로 인한 심혈관질환을 피하기는 어렵다(9). 최근 건강과 관련하여 식습관에 대한 관심이 높아 질병 예방에 좋은 건강음식으로 세계적 주목을 받고 있으나 짠 음식을 즐기는 한 고혈압 등짐에 따라 나트륨 과다 섭취에 대한 우려 또한 높아 국내외 저염식품에 대한 수요도 증가하는 추세이다.

식품에 존재하는 염을 제거하기 위한 여러 방법 중 전기적으로 하전된 막을 이용한 전기투석법의 이용가능성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(10). 전기투석법은 Mayer와 Strauss(11)에 의해 공정이론이 정립된 후 Juda 등(12)에 의해 합성이온교환막이 상업용으로 개발되어 실용화 된 것으로 이온성분을 용액으로부터 분리하는 공정으로 용액속의 이온성분이 전기장에 걸려준 전압에 의해 양이온 교환수지 막과 음이온 교환수지 막을 선택적으로 통과하여 일어나는 물질전달 원리에 이론적 기초를 두고 있다(10). 전기투석법은 식품의 품질특성을 변화시키지 않으면서 농축이 가능함으로 담수로부터 식수를 얻거나(13), 유청(14), 액젓(15)의 저염화, 아미노산의 정제(16), 초산의 생산(17), 젖산 발효액의 농축(18), 재래식 간장의 저염화(19) 등에 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 발효미강으로부터 미네랄을 확보하고 전기투석을 이용하여 탈염조건을 설정하여 미네랄 저염소금 개발 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

재 료

발효 균주는 식물 내 존재하는 단백질과 탄수화물을 분해시키기 위하여 포자화 된 분말형태의 장류용 *Aspergillus oryzae*(황국균)을 ㈜충무발효(Ulsan, Korea)에서 구입하여 사용하였으며, 미강은 2013년에 생산된 현미(무안농협)에서 도정 중에 생성된 부산물을 사용하였다.

발효조건

미강을 열수추출 후 정치배양, 고체발효, 고체발효 후 열수추출 등 3 가지 조건으로 발효 하였다. 조건 1은 미강을 열수추출 후 여과한 액에 *A. oryzae* 0.1%를 접종하고 37°C에서 48시간 정치배양 하였으며, 조건 2는 수세한 미강에 직접 *A. oryzae* 0.1%를 접종한 후 37°C에서 48시간 고체배양 하였다. 조건 3은 조건 2와 같이 고체배양한 후 열수추출 하였다.

열수추출 조건은 미강 혹은 미강 고체발효물 100 g에 증류수 900 mL 을 넣고 100°C에서 90분간 열수추출한 후 부직포에 1차 여과 하였다.

미강발효액의 여과방법

미강 발효액을 여과하기 위하여 1 차 여과로 펄라이트(FW 60, EP.MINERAL, RENO, USA), 원심분리 순으로 여과하고, 규조토(CP 600T, EP.MINERAL, RENO, USA) 여과로 2차 여과를 진행하였다. 원심분리조건으로는 저온원심분리기(1236 MGR, ㈜자이로젠, Korea)를 사용하여 25°C, 3,400 rpm에서 30분 동안 원심분리 하였다.

미네랄 분석조건

미네랄 분석은 유도결합플라즈마분광기(ICP-OES 7, Agilent technologies, Santa Clara, California, USA)로 K, Mg, Ca, Na, Cu, Zn, Mn 및 Fe 등을 분석하였다.

기타 분석조건

전기투석장치는 Elyzer사(Ansan, Korea)의 모델 ELi-15를 사용하였으며 전기투석 실험조건 설정을 위한 실험에서 pH는 pH meter(510, OKITON, Vernon Hills, USA)를 사용하여 측정하였다. 전기전도도측정기(COND6+, EUTECH, Singapore, Singapore)를 사용하여 전기전도도를 측정하였고, 전기투석조 인가전압 및 전류는 전기투석조 전원공급 정류기의 표시 수치를 기록하였다. 실험 용액 공급 및 유량 제어는 Longer Pump사(Boonton, USA)의 WT 600-1F 본체에 YZ1515x head로 진행하였다.

전기투석장치

전기투석 공정은 이온교환막과 전기투석조(electrodialysis stack)의 양단에서 공급되는 직류전원에 의해 형성되는 전

기장을 구동력으로 하여 이온성 물질을 분리하는 막분리 공정이다. 이온교환막은 전해질 용액에서 막 내부의 고정 이온(fixed ions)의 작용에 의하여 대응이온(counter-ions)의 선택투과성을 나타낸다. 따라서 양이온 교환막은 양이온을 선택적으로 투과시키며, 음이온 교환막은 음이온을 선택적으로 투과시키게 된다.

유량 변화에 의한 전기투석효과

전기투석 시 미네랄성분을 농축하는 정제수는 1 차 증류수를 사용하였으며 염소이온 공급원인 saline water에 함유되어 있는 NaCl 농도는 5.68 g/mL 으로 99% 이상의 정제염을 사용하였다. 전기투석조건 설정을 위한 변화조건은 Table 1과 같다. 전기투석조 유입 수 유량 변화실험을 위하여 운전시간은 15분 및 전류는 1 A로 고정하고 유량을 100 mL/min 및 200 mL/min으로 실험하였고, 전류변화에 따른 실험을 위하여 운전시간은 15분, 유량은 100 mL/min로 고정하고 인가전류를 1 A, 2 A, 3 A로 실험하였다. 그리고 시간에 따른 변화실험을 위하여 유량 및 전류를 100 mL/min, 3 A로 각각 고정하고 시간을 90분 동안 10분 단위로 측정하였다.

Table 1. Conditions of electro dialysis

| Changing conditions | Flux (mL/min) | | | Electric current (A) | Operating time (min) |
|---------------------|---------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | Saline water | Purified water | Fermented extract | | |
| Flux | 100 | 100 | 100 | 1 | 15 |
| | 100 | 200 | 100 | 1 | 15 |
| Electric current | 100 | 100 | 100 | 1 | 15 |
| | 100 | 100 | 100 | 2 | 15 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 15 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 10 |
| Operating time | 100 | 100 | 100 | 3 | 20 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 30 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 40 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 50 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 60 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 70 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 80 |
| | 100 | 100 | 100 | 3 | 90 |

나트륨함량 미네랄 소금 제조

나트륨함량 미네랄 소금을 조제하기 위한 전기투석 후 얻어진 용액은 dry oven에서 105°C, 8시간 동안 상압가열건조 하였으며, 정제혼합액과 정제소금을 건조중량비로 혼합하여 제조하였다.

통계처리

본 연구의 결과는 SPSS 프로그램(18.0, SPSS Inc,

Chicago, IL, USA)을 이용하여 통계 분석하였으며, 평균 (mean)±표준편차(SD)로 표시하였다. 군 간의 차이는 one-way analysis of variance(ANOVA test)를 실시하였고, p<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

미강 발효 방법에 따른 미네랄 함량 비교

미강을 *A. oryzae*로 35°C 에서 48시간 정치발효한 후, 발효 전과 열수추출 후 액상발효, 고체발효, 고체발효 후 열수추출물의 K, Mg, Ca, Na 함량을 비교하였다(Table 2).

미강의 K 함량은 1,654.58 mg/100 g이었으나 열수추출물의 K 함량은 1,341 mg/100 g, 고체 발효 후 K 함량은 2,082.73 mg/100 g으로 증가되었고 고체 발효 후 열수추출물에서도 2,019.23 mg/100 g으로 발효 전보다 유의적으로 증가됨을 볼 수 있었다. 반면 Mg, Ca 함량은 발효 전보다 발효 후 감소되는 결과를 보였다. Mg 함량은 발효 전 미강

에서 934.27 mg/100 g에서 열수추출 후 발효물은 716 mg/100 g, 고체 발효 후 717 mg/100 g, 고체발효 후 열수추출물에서 414.93 mg/100 g으로 유의적으로 감소하였다. Ca 함량 또한 발효 전 65.9 mg/100 g에서 발효 후 58.77 mg/100 g, 고체발효 후 열수추출물 24 mg/100 g으로 유의적으로 감소하였으며, Na 함량은 발효 전 25.13 mg/100 g에서 고체 발효 후 25.37 mg/100 g으로 비슷하였으나 열수추출 후 발효물은 17.5 mg/100 g, 고체 발효 후 열수추출물에서

Table 2. Comparison of K, Mg, Ca, and Na content in brown rice by-product according to the fermentation method

| | (mg/100 g) | | | |
|----|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | By-products of brown rice | Liquid fermentation ¹⁾ | Solid-state fermentation | Fermented extract ²⁾ |
| K | 1654.58±4.38 ^{c3)} | 1341.04±13.45 ^d | 2082.73±1.19 ^a | 2019.23±4.00 ^b |
| Mg | 934.27±16.66 ^a | 716.02±7.15 ^b | 717.00±1.31 ^b | 678.51±8.16 ^c |
| Ca | 65.90±1.48 ^a | 60.13±1.09 ^b | 58.77±0.15 ^c | 48.69±1.60 ^d |
| Na | 25.13±0.40 ^a | 17.52±0.57 ^c | 25.37±0.31 ^a | 23.51±0.60 ^b |

¹⁾Liquid fermentation after the hot water extraction of by-product brown rice.

²⁾Hot water extraction after solid-state fermentation of by-product brown rice.

³⁾Values are Mean±SD. Means with different alphabet letters in the same row are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

는 23.51 mg/100 g으로 유의적인 차이를 보였다.

4가지 실험 조건 중 고체발효에서 미강 발효 전과 비교하여 발효에 의해 K 함량이 가장 증가하였으며 Mg, Ca 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 고체 발효 후 열수추출물의 경우에도 발효 전과 비교하여 K 함량은 증가하였으나 Mg, Ca, Na 함량은 감소하였다.

본 실험결과 미강 고체발효 시 미네랄 함량이 가장 많은 수율을 얻을 수 있었으나 전기투석에 사용하기 위해서는 고체상태가 아닌 액체 상태를 유지하여야 함으로 미강 고체 발효 후 열수추출물을 사용하였다.

미강 미량원소 분석

미강 추출 시 미량원소 함량은 Table 3과 같다. 미강 추출물과 고체발효 후 추출물의 미량원소를 비교한 결과 고체발효 후 추출물의 미량원소가 발효 전 45.5 mg/100 g에서 발효 후 62.9 mg/100 g으로 증가하였다.

미강 발효 후 열수추출물 여과

예비 실험결과, 미강 발효추출액을 펄라이트, 원심분리, 규조토, 펄라이트+규조토 등 어느 한 가지 경우로만 여과 시 맑은 여과액을 얻어낼 수 없었다. 또한 원심분리의 경우

하단부에 침전물이 생기지만 질량이 작은 부유물에 의해 약간의 혼탁한 상태임을 확인하였다. 따라서 본 실험에서 전기투석 시 미네랄 공급원인 미강추출액을 단일 여과가 아닌 펄라이트 → 원심분리의 1차 여과와 규조토여과의 2차 여과로 복합 여과를 실시하고 Table 4에서 보는 바와 같이 회수율을 얻을 수 있었다.

Table 3. Comparison of element content before fermentation and that of the fermented extract of brown rice by-products

| | (mg/100 g) | |
|---------|---------------------------|---------------------------------|
| Element | By-products of brown rice | Fermented extract ¹⁾ |
| Cu | 2.1 | 4.7 |
| Zn | 8.6 | 12.5 |
| Mn | 29.6 | 37.3 |
| Fe | 5.2 | 8.4 |
| Total | 45.5 | 63.9 |

¹⁾Hot water extraction after solid-state fermentation of by-products of brown rice.

미강 고체발효 후 열수추출액을 1차 여과한 결과 여과 전 칼륨은 2,019.2 mg/100 g에서 여과 후 1,769.7 mg/100 g으로 88%의 여과회수율을 얻었으며 여과액을 2차 여과한 결과 16,989.1 mg/100 g로 96%의 여과회수율을 얻을 수 있었다. 마그네슘은 각각 74%의 1차 여과 회수율과 98%의 2차 여과 회수율을 얻었으며 칼슘은 52%의 1차 여과 회수율과 92%의 2차 여과 회수율을 얻었다. 나트륨은 1차 여과 회수율은 83%, 2차 여과 회수율은 89%였다.

유량 변화에 의한 전기투석효과

인가전류 및 운전시간을 1 A, 15분으로 동일한 조건하에서 정제수의 유량을 100 mL/min, 200 mL/min으로 변화에 따른 전기투석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 유량변화에 대한 효과는 정제수 부분의 유량만 변화시켰다. 유량이 변화하여도 전기투석효과에 영향이 없었고, 유속이 200 mL/min로 빠를 때 생산제품인 정제수실 반응액이 농도가

Table 4. Filtration recoveries of the fermented extract of brown rice by-products

| Element | Fermented extract ¹⁾ (mg/100 g) | Primary filtrate (mg/100 g) | Primary filtration recovery (%) | Secondary filtrate (mg/100 g) | Secondary filtration recovery (%) |
|---------|---|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| K | 2019.2 | 1,769.7 | 88 | 16,989.1 | 96 |
| Mg | 559.9 | 573.6 | 74 | 5,621.3 | 98 |
| Ca | 46.1 | 35.3 | 52 | 324.8 | 92 |
| Na | 25.2 | 19.5 | 83 | 173.6 | 89 |
| Cu | 4.73 | 3.3 | 70 | 31.6 | 96 |
| Zn | 12.5 | 8.3 | 66 | 73.9 | 89 |
| Mn | 37.3 | 27.10 | 73 | 262.9 | 97 |
| Fe | 8.4 | 5.4 | 64 | 51.3 | 95 |

¹⁾Hot water extraction after solid-state fermentation of by-product brown rice.

낮게 나타났다. 이는 각 실내의 수압 불균형으로 인하여 수압이 높은 정제수실 쪽의 실험액이 일부 막을 통과하여 다른 실로 주입되었기 때문이라고 사료된다.

전기투석을 이용한 막분리 기술은 분리, 농축 그리고 정제 등의 공정에 이용되는데 막표면에 용질의 흡착에 의한 fouling 현상이 발생한다. 이러한 fouling 현상은 여과압력, 공급액의 유속 및 점도, 운전온도 등의 조건에 영향을 받는다고 하였다(20-24). 전기투석법을 이용하여 아미노산 수용액으로부터 전해질 무기염의 분리정제에 관한 Kim 등의 연구결과(25)에서도 유속이 작을수록 염의 제거효율을 증가하였으나 전류효율을 감소하였다고 보고한 바 있다.

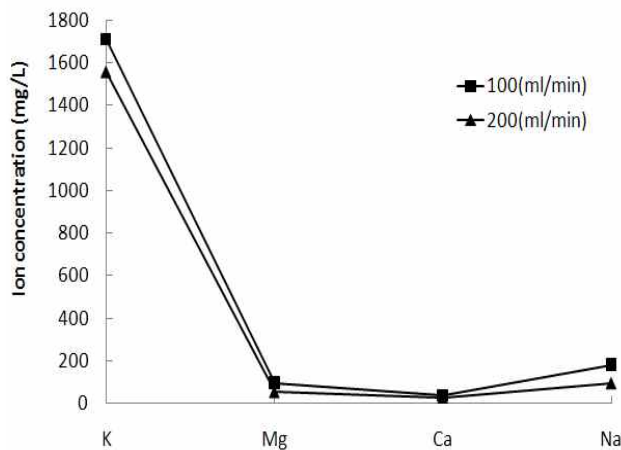


Fig. 1. Electro dialysis effect by the flow rate.

Electric current, 1 A; Operating time, 15 min.

인가 전류에 의한 전기투석효과

유량 및 운전시간 등 같은 조건하에서 전류의 영향에 의한 전기투석효과의 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 전류를 높게 인가할수록 전기투석효과가 높게 나타났고, 그 증가 곡선도 역포물선으로 인가전류가 높을수록 효율이 높음을

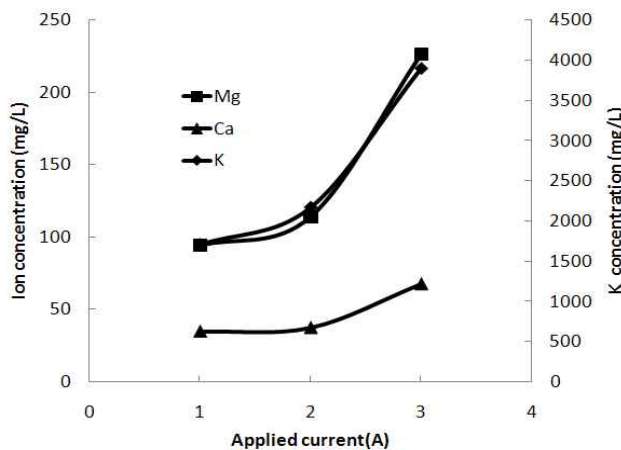


Fig. 2. Electro dialysis effect by the application of current.

Flux, 100 mL/min; Operating time, 15 min.

나타냈다. Fig. 1, 2에서 보는 바와 같이 본 실험에서는 유량 변화는 전기투석의 성능향상에 영향을 미치지 못하고 인가 전류는 높을수록 높은 전기투석효과를 나타냄을 알 수 있었다. 이후 실험은 본 장치가 허용할 수 있는 최대 전류인 3A와 최소 유량 100 mL/min으로 조건을 설정하였다.

시간대별 정제수 및 추출물의 이온치환 효과

실험액 부피 각각 100 mL, 유속 100 mL/min, 인가전류 3 A로 전기투석을 진행한 결과 Fig. 3과 같이 90분 이내에 95%의 발효추출액 이온이 정제수로 회수되었으며 비례적으로 Fig. 4와 같이 추출물 이온 농도는 감소되는 변화를 나타내었다.

정제수 및 발효추출물의 pH 와 전기전도도 변화

전기투석동안 정제수의 pH 및 전기전도도를 측정 한 결과 Fig. 5(A)과 같이 초기 pH 5.6에서 pH 1.2까지 낮아졌으

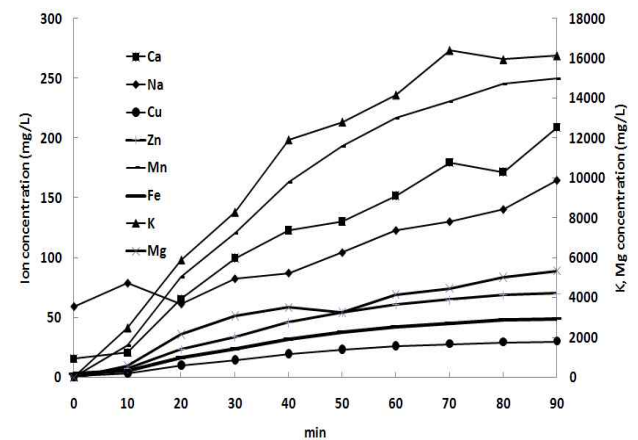


Fig. 3. Changes in the ion concentration of the purified water during electro dialysis.

Flux, 100 mL/min; Electric current, 3 A.

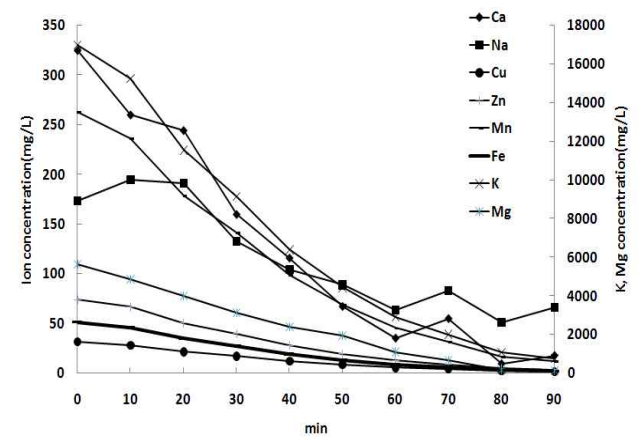


Fig. 4. Changes in the ion concentration of the fermentation extract during electro dialysis.

Flux, 100 mL/min; Electric current, 3A.

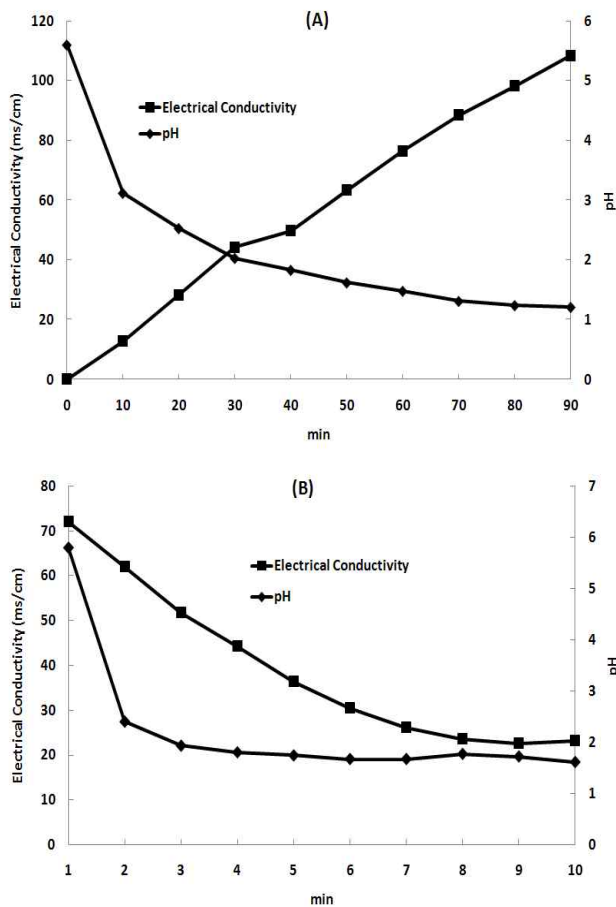


Fig. 5. Changes in the pH and electrical conductivity of the purified water (A) and the fermentation extract (B) during electro dialysis.

며, 전기전도는 90분 동안 계속적으로 증가하였다. 또한 같은 방법으로 발효추출물을 전기투석을 하는 동안 pH 및 전기전도도를 측정 한 결과는 Fig. 5(B) 와 같이 초기 pH 5.8 에서 pH 1.6까지 낮아지고 전기전도도는 계속 감소하여

Table 5. Mineral concentration of the final purified water and mixture (%)

| Element | Purified water | Mixture ¹⁾ |
|---------|----------------|-----------------------|
| K | 29.8 | 25.7 |
| Mg | 9.9 | 8.4 |
| Ca | 0.6 | 0.5 |
| Na | 0.3 | 5.7 |
| Cu | 0.1 | 0.0 |
| Zn | 0.1 | 0.1 |
| Mn | 0.5 | 0.4 |
| Fe | 0.1 | 0.1 |
| Total | 41.3 | 41.0 |

¹⁾ Composing solution of purified water and saline water after electro dialysis.

23.1 ms/cm까지 감소하였다. 이는 발효추출물 실에서 양극에 의하여 산소가스가 형성되고, 생성된 수소이온의 양이온이 정제수실로 이동하고 남은 음이온과 산을 형성하였기 때문으로 사료된다.

Ogutveren 등(26)은 폐수 중에 함유되어 있는 Cu²⁺ 이온을 효율적으로 제거하기 위한 pH에 따른 영향을 측정한 결과 pH 2.15와 pH 5.75 용액에서 pH 9.0보다 제거율이 높았다고 보고하였으며, Park 등(18) 또한 굴지숙액을 전기투석한 결과 중성이나 알칼리성 영역의 pH보다 산성용액의 pH에서 탈염효과가 높다고 하였다. Nomura 등(17) 또한 전기투석기를 이용한 젖산발효액으로부터 젖산만을 분리함으로써 발효액의 pH를 발효균주의 성장조건으로 조절하여 pH를 조절하지 않은 발효액에 비해 2.3 배의 젖산을 얻었다고 보고한 바 있다.

나트륨 함량 조건 설정

본 실험에서 전기투석조 내 각 실의 반응식은 아래와 같다. 양극실(발효추출물실)에서 식(a), 음극실(소금물)에서 식(c), 정제수실에서 식(b)와 같은 반응이 일어난다. 반응식에서 알 수 있듯이 식(b)와 식(c)은 강염기와 강산기를 포함하고 있으며 정제수는 최종제품을 위하여 pH 조절이 필요하다. Table 5는 전기투석 반응 종료 후 얻어진 정제수에 음극실(소금물) 용액을 혼합하여 pH 7.4로 맞추었을 때의 이온의 농도이다. 결과에서 볼 수 있듯이 정제수에는 나트륨 함량이 너무 낮아 나트륨을 보충할 필요가 있고, 혼합 후에도 나트륨이 5.7%로 너무 낮게 함유되어 있어 추가로 정제염과 혼합할 필요가 있었다.

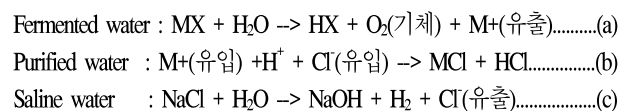


Table 6은 본 실험의 결과물인 정제수 중의 염과 일반 정제염의 혼합 비율에 따른 나트륨함량 미네랄 소금 조제 방법을 나타내었다. 적절한 나트륨 농도의 소금(나트륨 50% 감량 소금 등)을 제조하기 위하여 본 실험에서 제조된 Table 5의 정제혼합액과 정제소금을 Table 6에서 제시한 것과 같은 건조중량비로 혼합하여 제조할 수 있었다. 예들 들면 나트륨 50% 감량(Na⁺ 이온함량 20%)소금을 제조하기 위하여 Table 5의 혼합액 성분과 NaCl 정제염 0.8을 건조중량비로 혼합하면 Na 이온 농도가 20.6%인 미네랄소금을 제조하게 된다. 결과에서 표와 같이 본 방법을 이용하면 나트륨 함량이 최소 5.7%인 소금부터 희망하는 나트륨 농도의 소금을 모두 제조할 수 있다.

Table 6. Mineral ion concentration according to the mixing ratio of refined salt in mixture

| Element | Refined salt mixture ratio ¹⁾ | | | | | | | | | | | | | |
|---------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2 | 2.2 | 2.4 | 2.6 |
| K | 25.7 | 21.4 | 18.4 | 16.1 | 14.3 | 12.9 | 11.7 | 10.7 | 9.9 | 9.2 | 8.6 | 8.0 | 7.6 | 7.1 |
| Mg | 8.4 | 7.0 | 6.0 | 5.3 | 4.7 | 4.2 | 3.8 | 3.5 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.3 |
| Ca | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| Na | 5.7 | 11.3 | 15.3 | 18.3 | 20.6 | 22.5 | 24.0 | 25.3 | 26.4 | 27.3 | 28.1 | 28.8 | 29.4 | 30.0 |
| Cu | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Zn | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Mn | 0. | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Fe | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Total | 41.0 | 40.7 | 40.5 | 40.4 | 40.3 | 40.2 | 40.1 | 40.0 | 40.0 | 39.9 | 39.9 | 39.9 | 39.8 | 39.8 |

¹⁾Mixture is composing solution of purified water and saline water.

요 약

무기이온이 풍부한 생식물 중 버려지는 부산물을 이용하여 미네랄 확보를 위한 발효최적조건을 설정하고 발효물에 함유된 미네랄 여과 및 정제 조건을 확립하였다. 생식물 가공 후 부산물을 활용하여 다량의 미네랄을 확보하고, 생식물 미네랄 배지조성을 위하여 백미 도정 후의 현미부산물인 미강을 고체 발효시켜 열수추출한 결과 칼륨 2,019.2 mg/100 g을 포함한 미네랄을 얻을 수 있었다. 추출물에 대한 순차적인 여과로 칼륨 1,769.70 mg/100 g을 포함한 미네랄을 확보하여 정제한 후 미네랄을 염수와 치환하기 위한 조건을 확립하기 위하여 유량과의 상관관계를 알아본 결과 유량이 변화하여도 전기투석효과에 영향이 없었으며, 유속이 200 mL/L로 빠를 때 생산제품인 정제수실 반응액이 농도가 낮게 나타났다. 인가전류와의 상관관계에서는 전류를 높게 인가할수록 전기투석효과가 높게 나타났고, 그 증가곡선도 역포물선으로 인가전류가 높을수록 효율이 높음을 나타냈다. 시간과의 상관관계 결과 90분 이내에 95%의 추출액 이온이 정제수로 회수 되었으며 비례적으로 추출 이온별 농도의 변화가 있었다. 정제수실의 이온 농축수에 정제염수실에서 조성된 수산화나트륨을 혼합하여 pH 7.4의 안전한 염화화합물을 조성할 수 있게 되었다. 전기투석 공정의 원리를 이용하여 생식물 발효 조성액에 함유된 미네랄을 정제염수와 이온치환하여 나트륨 함량 40% 대비 최저 5.7%~최고 30%까지 나트륨이 감량된 소금을 제조하여 미네랄 저염소금 개발 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 시행한 2013년 중소기업 융복

합기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Kim YS (2003) Functionality of fermented rice bran and its utilization. Ministry of Agriculture, Seoul, Korea, p 31-32
2. Jang KH, Byun GI, Park SH, Kang WW (2008) Dough properties and bread qualities of wheat flour supplemented with rice bran. Korean J Food Preserv, 15, 209-213
3. Jung EH, Hwang IK, Ha TY (2010) Properties and antioxidative activities of phenolic acid concentrates of rice bran. Korean J Food Sci Technol, 42, 593-597
4. Bae SM, Kim JH, Cho CW, Jeong TJ, Yoon HS, Byun MW, Lee SC (2002) Effect of γ -irradiation on the antioxidant activity of rice hull, rice bran and bran. J Korean Soc Food Sci Nutr, 31, 246-250
5. Chae GY, Kwon RH, Jang MW, Kim MJ, Ha BJ (2011) Whitening and antioxidative effect of rice bran fermented by *Bacillus subtilis*. J Soc Cosmet Scientists Korea, 37, 153-159
6. Kim DJ, Choi SM, Kim HY, Kim JH, Ryu SN, Han SJ, Hong SG (2011) Evaluation of biological activities of fermented rice bran from novel black colored rice cultivar SuperC3GHi. Korean J Crop Sci, 56, 420-426
7. Vander AJ, Sherman JH, Luciano DS (1990) Human Physiology. 5th ed. McGraw Hill Publishing Co., New

- York, NY, USA, p 471-512
8. Ha JO, Park KY (1998) Comparison of mineral contents and external structure of various salts. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 27, 413-418
 9. Son SM, Heo KY (2002) Salt intake and nutritional problems in Korea. *Korean J Commun Nutr*, 7, 381-390
 10. Chung JH, Mok CK, Lim SB, Woo GJ, Baek HH, Park YS (2002) Desalination of traditional soy sauce using electro dialysis. *Korean J Food Sci Technol*, 34, 811-817
 11. Meyer KH, Strauss W (1940) Membrane permeability. VI. On the passage of electric current through selective membranes. *Helv Chim Acta*, 23, 795-800
 12. Juda W, McRae WA (1950) Coherent ion exchange gels and membranes. *J Am Chem Soc*, 72, 1044-1053
 13. Choi KH (1993) Desalination of seawater using membrane separation processes. *Memb J*, 3, 51-59
 14. Borgardt P, Krischke W, Trosch W (1994) Combined resource recovery and wastewater treatment through the use of membrane separation process using the example of lactic acid production from whey permeate. *Chem Ing Tech*, 66, 1270-1271
 15. Oh SW, Nam EJ, Jo JH, Kim EM, Kim YM (1997) Chemical changes during desalting of fish sauces using electro dialyzer. *Korean J Food Sci Technol*, 29, 992-998
 16. Kim SK, Lee EH, Oh HG (1987) Processing in practice of membrane separation technique in food industry. *Ref Eng Air Con*, 6, 16-30
 17. Nomura Y, Yamamoto K, Ishizaki A (1991) Factor affecting lactic acid production rate in the built-in electro dialysis fermentation and approach to high speed batch culture. *J Ferment Bioeng*, 71, 450-452
 18. Park PJ, Lee SH, Kim SK (2000) Desalination of boiled oyster extract by electro dialysis. *Korean J Biotechnol Bioeng*, 15, 167-173
 19. Chung JH, Mok CK, Lim SB, Woo GJ (2002) Desalination of traditional soy sauce using electro dialysis. *Korean J Food Sci Technol*, 34, 811-817
 20. Taddei C, Daufin G, Aimar P, Sanchez V (1991) Role of some whey components on mass transfer in ultrafiltration. *Biotechnol Bioeng*, 38, 528
 21. Patel PN, Mehaia MA, Cheryan M (1987) Cross-flow membrane filtration of yeast suspensions. *J Biotechnol*, 5, 1-5
 22. Kroner KH, Schutue H, Kula R (1984) Cross-flow filtration in the downstream processing of enzymes. *Process Biochem*, 19, 67-71
 23. Scott JA (1988) Application of cross-flow filtration to cider fermentation. *Process Biochem*, 23, 146-152
 24. Nagata N, Herouvis KJ, Dziewulski DM, Belfort G (1989) Crossflow membrane microfiltration of a bacterial fermentation broth. *Biotechnol Bioeng*, 34, 447-451
 25. Kim SG, Han CW, Kim HS, Jeon KY, Choi YI (1994) A study on the separation of electrolyte from amino acid solution through electro dialysis. *Membrane J*, 4, 163-170
 26. Ogutveren UB, Koparal S, Ozel E (1997) Electro dialysis for the removal of copper ions from wastewater. *J Environ Sci Health*, 32, 749-761