

## 동결분쇄를 이용한 보리싹, 울금, 황칠, 상항버섯의 영양성분 증진 및 투과 효과

이일남<sup>1</sup> · 한예은<sup>1,2</sup> · 정호준<sup>1</sup> · 박하은<sup>2</sup> · 정주영<sup>2</sup> · 이진규<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국맥넬티, <sup>2</sup>이화여자대학교 식품공학과

### Effect of Nutrition Permeability from Barley sprouts, *Curcuma longa* L., *Dendropanax morbifera* LEV., *Phellinus linteus* Using Cryogenic Grinding Technology

Il-nam Lee<sup>1</sup>, Ho-jun Jeong<sup>1</sup>, Ye-eun Han<sup>1,2</sup>, Haeun Park<sup>2</sup>, Juyeong Jung<sup>2</sup>, and Jin-Kyu Rhee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Mcnulty, 42 Yeonamyulgeum-ro Cheonan-Si Chungnam Province Korea

<sup>2</sup>Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

#### Abstract

The purpose of this study was to improve the nutrition and the permeability of functional plants by using cryogenic grinding technology. Barley sprouts, *Curcuma longa* L., *Dendropanax morbifera* LEV., *Phellinus linteus* were dried, ground and extracted in different temperature conditions. Powder size of barley sprouts and *Curcuma longa* L. were about 50  $\mu$ m and *Dendropanax morbifera* LEV. and *Phellinus linteus* were about 20  $\mu$ m. Cryogenic ground of Barley sprouts preserved 18.27-124.65% of nutrients such as protein, ash, carbohydrate, beta carotene, minerals, vitamins. Cryogenic grinding powder of *Curcuma longa* L. show high nutrients retention rate of lipid and carbohydrate. Permeability was measured by Parallel Artificial Membrane Permeability Assay (PAMPA) to predict passive gastrointestinal absorption. Permeability of saponarin, which is marker compound of Barley sprouts, is 9.88 times higher in cryogenic grinding powder than ambient grinding powder. Curcumin permeability is 3.1 times higher than ambient grinded powder. As a result, particle size, nutrition, protein digestion degree and permeability demonstrated a positive relationship with the decreasing grinding temperature for the powders. These results confirm that the cryogenic grinding method had good suitability to increase functionality of plants, since it could minimize the heat generated while processing and effectively reduce the particle size.

**Key words:** cryogenic grinding, nutrients retention rate, permeability, protein digestion

## 서 론

UN 미래보고서는 2050년 전 세계 인구는 90억명에 도달하므로 식량 부족 현상이 가중될 것으로 예측하였다(Park et al., 2013). FAO는 식량 부족으로 기아와 영양 실조가 지속되거나 증가될 것으로 전망하고 있다(FAO, 2009). 식량의 양과 질의 감소는 식량의 안보뿐만 아니라 영양의 균형적인 공급에도 영향을 미친다(KOICA, 2017). 영양적인 식품 소재를 섭취했을 때 소화 흡수력이 떨어지고 체내의 이용률이 적어 집에 따라 생체 내에서 흡수력이 높은 식품개발 기술이 요구되는 실정이다(Song, 2011). 이

를 위해서 극저온초미세분쇄(이하 동결분쇄) 기술에 대한 관심이 증가하고 있다.

동결분쇄 기술은 후추, 고수, 커민, 호로과 등과 같은 향신료의 휘발성분이나 지방산 oil 함량의 보존 등에 연구되어 왔다(Singh & Goswami, 1999; Murthy & Suvendu, 2008; Bhupendra & Goswami, 2016; Sharma et al., 2016). 동결분쇄 기술은 영하 196°C 액체질소를 사용하여 분쇄 시 발생하는 열을 차단하여 열에 의한 식품의 풍미 저하와 영양성분의 손실을 막을 수 있는 기술이다(Ishito et al., 2002; Rohit et al., 2013; Saxena et al., 2015).

원자재 및 기술을 활용한 식품 가공은 영양공급 및 이용률을 달리한다(Versantvoort et al., 2005). 동결분쇄 기술은 열에 민감한 성분을 보호하고 물질을 균일하게 분쇄하여 향미를 고르게 유지시킬 수 있고 액체질소를 이용하여 저온에서 분쇄하기 때문에 단백질 등의 열 변성을 방지하고 지질의 산화를 방지하는 효과가 있다(Krejčová et al., 2008;

\*Corresponding author: Jin-Kyu Rhee, Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea  
Tel: +82-2-3277-4297; Fax: +82-2-3277-4213

E-mail: jkrhee@ewha.ac.kr

Received November 4, 2017; revised November 15, 2017; accepted November 16, 2017

Bhupendra & Goswami, 2016). 또한 추출액 또는 농축액으로 제조하면 가용성 성분만 섭취할 수 있으나 동결분쇄 기술은 원물을 섭취할 수 있는 초미세분말로 제조하므로 고유의 영양 그대로를 섭취할 수 있는 기술이다.

최근 기능성 식품과 생체조절 가능한 고기능성 농작물에 대한 관심에 높아짐에 따라 다양한 가공 기술을 적용하여 보리싹, 울금, 황칠, 상황버섯의 기능 연구가 되고 있다. 각 원료에 대한 연구로는 보리싹을 이용한 고지혈증 타깃 건강기능성 식품 기능성 원료개발을 통한 식의약 소재 개발(Seo, 2014), 울금의 생리활성을 이용한 기능성 식품소재화 및 기능성 식품의 개발(Jung, 2009), 자생 황칠나무로부터 심혈관질환 제어 식·의약소재 및 생물학적 지표 개발(Song, 2015), 상황버섯 추출물을 활용한 항고지혈증 기능성음료 개발(Choi, 2008) 등이 있다.

영양성분의 투과도를 확인하기 위하여 사용되는 PAMPA (Parallel Artificial Membrane Permeability Assay, 인공지질막 투과 분석)는 생체 내에서 수동적인 세포 간 투과성 평가를 위한 신속한 *in vitro* 모델로 96 well 미량정량판 기반의 기술이다(Vizseralek et al., 2014). 이 기술에서는 두 개의 plate가 위장관(GIT)와 같은 생물학적 막을 통한 수동적인 투과성을 모방한 인공 막으로 분리된다(Bujard et al., 2015) PAMPA를 이용하여 SNL제제를 이용한 curcumin의 흡수 증가(Righeschi et al., 2016), curcumin microemulsions의 최적화, 특성 분석에 대한 연구(Bergonzi et al., 2014)가 있으나 식품원료로 PAMPA를 진행한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기능성 식물 소재인 보리싹, 울금, 황칠, 상황버섯의 가공조건에 따른 영양성분의 보존율과 생체막 투과율 및 단백질 소화율을 비교하여 식품원료 제조 방법으로써 동결분쇄기술의 적용 가능성을 연구하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에 사용된 보리싹은 실내재배형식으로 재배하는 (주)주성(Anseong, Korea)에서 씨앗을 불리고 보리싹을 틔워서 약 9일 후 15~17 cm 자란 보리싹을 구입하였다. 구입한 보리싹은 뿌리부분을 절단하고 세척을 한 후 가공시료로 사용하였다. 울금은 커큐민의 함유량이 타 지역보다 많은 것으로 확인된 진도산 울금을 에덴영농조합(Jindo, Korea)에서 구매하여 2-3 mm로 절단하여 사용하였다. 황칠

은 울금을 구입한 에덴영농조합(Jindo, Korea)에서 구입하였다. 잎, 줄기, 뿌리 부위를 사용하였고 건조한 상태로 구입하였다. 황칠 줄기는 2.5 cm, 잎은 약 0.8 cm로 절단하였다. 상황버섯은 하우스 부양식으로 재배하는 더원네이처(Jangheung, Korea)에서 건조된 원료를 구입하였다. 모든 시료는 PE 비닐에 밀봉하여 냉장 온도인 4°C에서 보관하여 가공시료로 사용하였다.

### 시료준비

열풍 건조 및 분쇄는 열풍건조기(SH-40C, Sh Scientific, Sejong, Korea)를 이용하여 수분이 5% 이하로 감소할 때까지 건조하였다. 건조한 원료를 분쇄기(DHM-7000CW, Daesung Arlon, Paju, Korea)로 9분동안 분쇄하여 80mesh 망을 통과한 것을 시료로 사용하였다. 보리싹은 50°C에서 열풍으로 24시간, 울금은 80°C에서 열풍으로 2시간 건조하였다. 황칠과 상황버섯의 추출은 각각에 대해 동일한 방법으로 진행하였다. 추출용매는 물을 사용하였고 autoclave (SH-26A, Balmann Tech, Seoul, Korea) 기기를 이용하여 105°C에서 30분 동안 가압추출하는 방법으로 진행하였다. 0.4 L의 증류수에 시료 25 g을 넣어 8배수 추출을 하였고 추출을 마친 후 3시간 동안 식히고 filter paper No.1 (Whatman, Maidstone, UK)로 여과하였다. 추출은 3번 진행하여 추출물의 부피와 질량의 평균값을 계산하였다. 동결건조는 동결건조기(FDT-8620, Operon, Gimpo, Korea)에서 건조하였다(Table 1). 동결 분쇄는 동결분쇄기기 (Linrex Mill LX-1, Hosokawa Micron, Osaka, Japan)를 이용하였고 원료 별로 분쇄온도, rpm을 조정하여 동결분쇄 하였다. 보리싹과 울금은 -80°C, 3,600 rpm의 조건으로 분쇄하고 황칠과 상황버섯은 -50°C, 3,000 rpm의 조건으로 분쇄하였다.

### 영양성분 분석

보리싹과 울금은 원물, 일반분쇄물, 동결건조물, 동결분쇄물의 영양성분을 분석하였고 황칠과 상황버섯은 원물, 추출물, 동결건조분쇄물의 영양성분을 분석하였다. 영양성분은 열량, 수분, 지방, 단백질, 식이섬유, 회분, 베타카로틴, Ca, Fe, K, Na, P, 나이아신을 한국식품연구원(Jeonju, Korea)에 분석의뢰 하였다. 시험방법은 식품의 기준 및 규격(Ministry of Food and Drug Safety, 2017)에 의했다.

### 입도크기 분석

입도모양분석은 주사전자현미경 (TM3030Plus, Hitachi,

**Table 1.** Freeze drying processing condition of barley sprout and *Curcuma longa* L.

Item	Freeze	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Temp. (°C)	-40	-10	-10	0	0	20	20	40	40	
Time (m)	180	180	1,200	120	480	120	480	180	1,200	4,110
Vacuum (mbar)		200	200	200	200	200	200	50	50	

Tokyo, Japan)를 이용하여 분쇄시료를 이미징 데이터를 측정하였다. 입도크기분석은 레이저 회절 입도측정기(SALD-2300, Shimadzu, Kyoto, Japan)기기를 사용하여 같은 시료를 3번 반복 측정 하였다.

**투과율 분석(Pampa assay)**

보리싹과 상황버섯은 에탄올 20 mL, 황칠은 증류수 10 mL와 에탄올 10 mL를 섞은 용액, 울금은 메탄올 20 mL을 사용하였다. 용액 20 mL에 1 g의 시료를 centrifuge tube 50 mL에 넣어 sonication (Sonic vibra cell, Young Jin, Gunpo, Korea)기기로 성분을 5분동안 추출하였다. 시료는 열의 영향에 받지 않도록 외부에 얼음이 담긴 용기를 설치하였다. 추출한 용액은 syringe filter (0.45 µm, PTFE, Anylab, Seoul, Korea)로 필터링 하여 시료로 사용하였다.

Prisma HT buffer (110151, Pion Inc., Billerica, MA, USA)을 40배 희석하여 pH 7.4로 제조한 완충액 1 L와 시료 200 µL를 혼합하고 희석된 시료를 donor plate의 각 well에 180 µL씩 넣었다. Acceptor plate는 200 µL의 ASB 용액 (Acceptor Sink Buffer, Pion Inc.)을 각 well에 투입하였다. Acceptor와 donor plate를 결합하여 만들어진 sandwich plate는 40 ABL (Aqueous Boundary Layer Thickness)의 조건으로 Gut-Box™ (Pion Inc.)에서 1시간동안 배양하였다. 배양 후 acceptor plate와 donor plate에 남아 있는 시료는 각각 2ml e-tube에 담아 LC/MS (1290 infinity II, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), (6495 triple quad, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) 기기로 분석하였다. 3분까지 water 90%, acetonitrile 10%의 비율로 주입하였고 3분부터 20분까지 water 5%, acetonitrile 95%의 비율로 주입하였다. 20분부터 25분까지는 water 95%와 acetonitrile 5%의 비율로 주입하였다.

**Protease에 의한 단백질 소화율 분석**

단백질 소화율을 비교하기 위하여 식품공전에서 프로테아제 역가를 측정하는 방법을 변형하여 사용하였다. 시료를 protease (SLBT3383, Sigma Aldrich, St. Louis, USA)로 소화를 시킨 후 생성되는 L-tyrosine (BCBT5226, Sigma Aldrich)에 포린시액으로 발색하고 흡광도측정기 (Spectramax iD3, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)로 660 nm에서 측정하여 소화율을 비교하였다.

**통계처리**

본 실험의 결과는 모든 측정을 3반복으로 수행된 평균값과 표준편차로 나타내었으며, SAS 9.3(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) program을 이용하여 분산분석 (ANOVA)한 후  $p < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test를 하여 처리군 간의 유의성 검정을 하였다.

**결과 및 고찰**

**영양성분 분석**

가공조건에 따른 보리싹, 울금, 황칠, 상황버섯의 성분을 분석한 결과는 Table 2, Table 3, Table 4, Table 5에 나타내었다. 영양성분 분석 결과 원물과 동결분쇄물은 수분을 다량함유하기에 일반분쇄물, 추출물과 1:1 비교하기 위하여 수분을 0%로 변환하여 비교하였다. 수분을 제외한 원료중량과 원료의 영양성분함량을 비례식을 이용하여 100 g일 때의 함량을 나타내었다. 추출물은 부피와 질량의 평균값을 계산하여 추출물에 들어있는 원료의 중량을 100 g에 들어 있는 영양성분의 함량으로 계산하여 나타내었다.

보리싹을 동결분쇄하였을 때 단백질, 회분 탄수화물, 베타카로틴, 칼슘, 철, 칼륨, 인, 비타민 B1과 비타민 B2의

**Table 2. Nutritional analysis of Barley sprout**

Nutrients	Raw Barley sprout	Barley sprout ambient ground		Barley sprout freezing ground	
		Contents	Retention rate (%)	Contents	Retention rate (%)
Calorie (Kcal/100g)	386.67	319.44	82.61	341.39	88.29
Fat (g/100g)	1.33	3.63	272.93	2.21	166.17
Protein (g/100g)	41.33	34.19	82.72	37.16	89.91
Ash (g/100g)	4	4.06	101.50	4.18	104.50
Carbohydrate (g/100g)	53.33	58.12	108.98	64.33	120.63
beta-carotene (mg/100)	109.33	11.43	10.45	19.97	18.27
Ca (mg/100)	188	168.27	89.51	176.03	93.63
Fe (mg/100)	8	8.65	108.13	9.99	124.88
K (mg/100)	1,012	940.17	92.90	980.74	96.91
Na (mg/100)	100	90.28	90.28	80.47	80.47
P (mg/100)	805.33	748.29	92.92	797.16	98.99
Niacin (mg/100)	0	2.24	-	1.83	-
Vitamin B1 (mg/100)	0	0.21	-	0.54	-
Vitamin B2 (mg/100)	2.67	0.64	23.97	0.86	32.21
Dietary fiber (g/100g)	49.33	41.45	84.03	39.22	79.51

**Table 3. Nutritional analysis of *Curcuma longa* L.**

Nutrients	Raw	<i>Curcuma longa</i> L. ambient ground		<i>Curcuma longa</i> L. freezing ground	
	<i>Curcuma longa</i> L.	Contents	Retention rate (%)	Contents	Retention rate (%)
Calorie (Kcal/100g)	327.16	299.78	91.63	472.68	144.48
Fat (g/100g)	4.94	5.15	104.25	5.23	105.87
Protein (g/100g)	8.02	9.96	124.19	7.01	87.41
Ash (g/100g)	8.64	9.28	107.41	8.91	103.13
Carbohydrate (g/100g)	78.4	75.62	96.45	78.86	100.59
beta-carotene (mg/100)	0	0	-	0	-
Ca (mg/100)	88.89	95.86	107.84	103.80	116.77
Fe (mg/100)	1.23	2.35	191.06	3.09	251.22
K (mg/100)	3,462.35	3,584.56	103.53	3,800.83	109.78
Na (mg/100)	7.41	8.84	119.30	14.25	192.31
P (mg/100)	416.67	463.87	111.33	470.67	112.96
Niacin (mg/100)	0.62	0.56	91.63	0.24	38.71
Vitamin B1 (mg/100)	0	0	-	0.12	-
Vitamin B2 (mg/100)	0	0.11	-	0.12	-
Dietary fiber (g/100g)	31.48	44.63	141.77	18.17	57.72

**Table 4. Nutritional analysis of *Dendropanax moribifera* LEV**

Nutrients	Raw <i>Dendropanax moribifera</i> LEV.	<i>Dendropanax moribifera</i> LEV. extracts		<i>Dendropanax moribifera</i> LEV. freezing ground	
		Contents	Retention rate (%)	Contents	Retention rate (%)
Calorie (Kcal/100g)	233.54	67.48	28.89	239.67	102.62
Fat (g/100g)	1.34	0	0	1.24	92.54
Protein (g/100g)	2.78	1.35	48.56	3.10	111.51
Ash (g/100g)	3.19	2.7	84.64	3.41	106.90
Carbohydrate (g/100g)	92.70	14.84	16.01	92.25	99.51
beta-carotene (mg/100)	0.21	0	0	1.03	490.48
Ca (mg/100)	1,073.56	292.85	27.28	1,128.72	105.14
Fe (mg/100)	3.81	0	0	5.99	157.22
K (mg/100)	638.17	979.76	153.53	580.89	91.02
Na (mg/100)	43.83	5,060.73	11,546.27	42.15	96.17
P (mg/100)	87.65	90.42	103.16	89.98	102.66
Niacin (mg/100)	0.31	2.70	870.97	0.21	67.74
Vitamin B1 (mg/100)	0.10	0	0	0.10	-
Vitamin B2 (mg/100)	0.10	0	0	0.10	-
Dietary fiber (g/100g)	80.25	1.35	1.68	76.34	95.13

함량이 18.27-124.88%까지 일반분쇄 보다 높게 나와 동결분쇄 방법이 일반분쇄 방법에 비하여 이들 영양성분을 잘 보존하는 분쇄 방법인 것으로 나타났다. 반면, 지방, 나트륨, 나이아신, 식이섬유 등의 분쇄가공은 동결분쇄의 적합도가 다소 낮은 것으로 확인되었다. 나이아신과 비타민 B1은 보리싹 원물에서 측정되지 않고, 일반분쇄와 동결분쇄에서 확인되었는데 건조과정에서 농축되어 검출된 것으로 추정된다.

울금을 동결분쇄하였을 때 에너지원인 지방, 탄수화물의 보존율이 105.87%, 100.59%로 높았고, 단백질은 일반분쇄에서 높게 나타났다. 무기질류에서는 칼슘, 철분, 칼륨, 나트륨, 인에서 동결분쇄에서 일반분쇄에 비하여 높은 보존

율을 보였다. 비타민 A (베타카로틴)은 원물, 일반분쇄, 동결분쇄 모두 측정되지 않았다. 나이아신(비타민 B3)은 열, 조리, 장기간 보존에 비교적 안정하여 일반분쇄에서 91.63% 보존되어 동결분쇄 38.71%에 비하여 높았다. 비타민 B1과 비타민 B2는 원물에서 측정되지 않았으나, 비타민 B1은 동결분쇄에서, 비타민 B2는 일반분쇄와 동결분쇄에서 검출되어 동결분쇄가 비타민 B1과 비타민 B2의 보존에 유리한 분쇄방법임이 확인되었다. 식이섬유의 함량이 일반분쇄에서 141.77%로 울금 원물과 동결분쇄 보다 높게 나타난 것은 열처리 공정이 마이라드반응(mailard reaction)을 촉진시켜 그 반응생성물과 기타 탄닌과 같은 성분이 리그닌 함량으로 포함되어 식이섬유 함유량이 증가하는 것

Table 5. Nutritional analysis of *Phellinus linteus*

Nutrients	Raw <i>Phellinus linteus</i>	<i>Phellinus linteus</i> extracts		<i>Phellinus linteus</i> freezing ground	
		Contents	Retention rate (%)	Contents	Retention rate (%)
Calorie (Kcal/100g)	237.89	12.89	5.42	264.32	111.11
Fat (g/100g)	0.33	0	0	4.28	1,296.97
Protein (g/100g)	7.49	1.29	17.22	6.78	90.52
Ash (g/100g)	1.54	0	-	1.46	94.81
Carbohydrate (g/100g)	90.64	2.58	2.85	91.45	100.89
beta-carotene (mg/100)	0	0	-	0	-
Ca (mg/100)	107.93	11.60	10.75	127.42	118.06
Fe (mg/100)	1.98	-	-	3.55	179.29
K (mg/100)	446.04	185.57	41.60	507.72	113.83
Na (mg/100)	5.40	5.15	95.37	4.90	90.74
P (mg/100)	148.68	67.01	45.07	146.72	98.68
Niacin (mg/100)	1.10	3.87	351.82	1.04	94.55
Vitamin B1 (mg/100)	0	0	-	0	-
Vitamin B2 (mg/100)	0	0	-	0	-
Dietary fiber (g/100g)	78.96	0	0	72.58	91.92

으로, 당근, 양배추, 표고버섯, 양송이버섯, 미역, 김을 50-60°C에서 일반건조 시킨 결과를 냉동건조시킨 시료와 비교할 때 3%에서 5%까지 총 식이섬유 함량이 증가하였다(Jin et al., 2006)는 연구결과와 유사하게 나타났다.

황칠 추출물의 나이아신의 보존율은 전술한 바와 같이 열에 안정하여 870.97%로 높게 측정되었다. 열량, 지방, 단백질, 회분, 탄수화물, 베타카로틴, 칼슘, 철분, 칼륨, 식이섬유는 동결분쇄에서 91.02-490.48%로 높은 보존율을 보였다.

동결분쇄방법이 일반분쇄 방법에 비하여 상황버섯의 영양소를 잘 보존하였다. 상황버섯의 섬유상 조직은 일반분쇄로 분쇄하기 어려운데, 동결분쇄로 일정한 입도를 유지하여 영양성분의 용출에 유용하여 지방은 1,296.97%로 측정되었다. 무기질 중 철분은 원물의 179.29%, 칼슘은 118.06%, 칼륨은 113.83%로 동결분쇄가 더 높게 측정되어 영양성분이 잘 용출되었다.

#### 입도크기 분석

원료 분쇄물의 구조 및 조직분석을 하기 위해 주사전자현미경(SEM)으로 입자를 이미징하였고 동결건조 및 분쇄된 보리싹, 울금, 황칠, 상황버섯의 입자를 관찰할 수 있었다. 동결분쇄된 입자는 비교적으로 균일하고 구형의 작은 모양을 유지하였다. 특히적으로 상황버섯은 실처럼 얇은 직선의 형태였다. 일반분쇄된 입자는 불규칙적이고 각을 띤 형태를 보였다(Fig. 1). 입도크기를 측정하고 비교한 결과, 동결분쇄물은 일반분쇄물보다 입자의 크기가 작게 측정되었다. 보리싹 동결분쇄물의 크기는 59.163  $\mu\text{m}$ 이고 보리싹 일반분쇄물은 124.91  $\mu\text{m}$ 으로 측정되었다( $p < 0.05$ ). 울금 동결분쇄물 크기는 46.547  $\mu\text{m}$ 이고 울금 일반분쇄물은 55.442  $\mu\text{m}$ 였다( $p < 0.05$ ). 황칠 동결분쇄물의 입도크기는 27.185  $\mu\text{m}$ 이고 상황버섯 동결분쇄물은 15.062  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다( $p < 0.05$ ). 황칠과 상황버섯은 일반분쇄과정 대신 추출과정을 진행하여 액체상태이므로 분석을 하지 않았다(Fig. 2, Fig. 3).

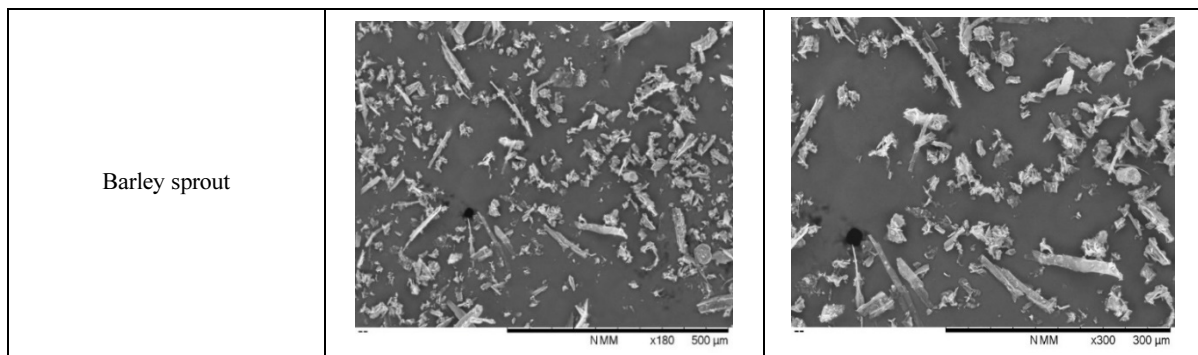


Fig. 1. SEM images of freeze and ambient ground powder by different particle size.

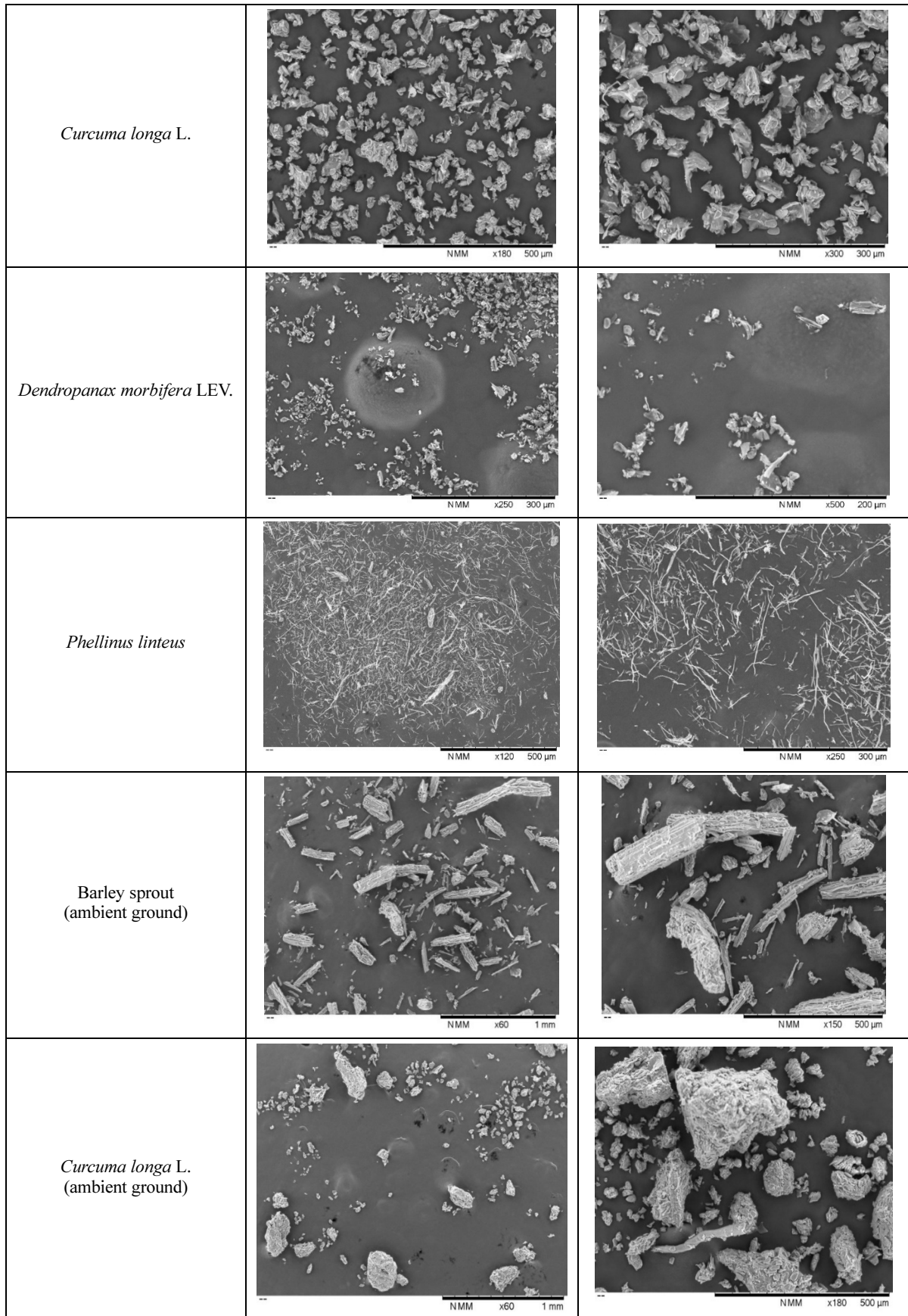


Fig. 1. SEM images of freeze and ambient ground powder by different particle size (continued).

투과율 분석

가공조건에 따른 LC/MS 분석결과는 Fig. 4-Fig. 7에 나타났으며 보리싹과 울금은 원물, 일반분쇄물, 동결분쇄물의 투과율 비교를 하였고 황칠과 상항버섯은 원물, 추출물, 동결분쇄물의 비교를 하였다. 분석 결과 보리싹의 saponarin, 울금의 curcumin, 황칠의 rutin, 상항버섯의 hypholomine B 성분이라고 추정되는 분자량을 확인하였고, curcumin의 경우 표준품(WXBC3535V, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 분석하였다.

보리싹의 유효성분인 saponarin으로 추정되는 분자량 594.16 g/mol의 성분이 retention time 약 5.0 min에서 확인되어 saponarin의 투과율을 분석 하였다. 보리싹의 일반분쇄물의 막 투과전 saponarin의 intensity는  $2.85 \times 10^5$ 이고 막 투과후의 saponarin의 intensity는  $0.2 \times 10^4$ 는 투과율은 0.70%였다. 동결분쇄물의 막 투과 전 성분의 saponarin의 intensity는  $3.15 \times 10^5$ 이고 막 투과후의 saponarin의 intensity는  $2.18$

$\times 10^4$  투과율은 6.92%였다. 따라서, 보리싹의 유효성분인 saponarin의 투과율은 일반분쇄에 비하여 동결분쇄가 9.88 배 이상 잘 투과할 수 있게 하는 분쇄방법임이 확인되었다.

울금의 LC/MS 분석 결과 분자량이 368.38 g/mol인 curcumin이 retention time 약 9.88 min에서 확인되어 curcumin의 투과율을 분석하였다. 일반분쇄물의 막 투과전 성분의 intensity는  $8.1 \times 10^6$ 이고 막 투과후의 성분의 intensity는  $1.05 \times 10^6$ 로 투과율은 12.96%였다. 동결분쇄물의 막 투과전 성분의 intensity는  $5.2 \times 10^6$ 이고 막 투과후의 성분의 intensity는  $2.1 \times 10^6$ 로 투과율은 40.38%였다. 따라서, 동결분쇄를 했을 때 울금의 유효성분인 curcumin의 투과율은 311.57%로 일반분쇄보다 3배이상 잘 투과하는 방법임이 확인 되었다.

황칠의 LC/MS 분석 결과 rutin으로 추정되는 분자량이 610.5 g/mol인 성분이 retention time 약 5.47 min에서 확인되어 투과율을 분석하였다. 추출물의 막 투과전 성분의 in-

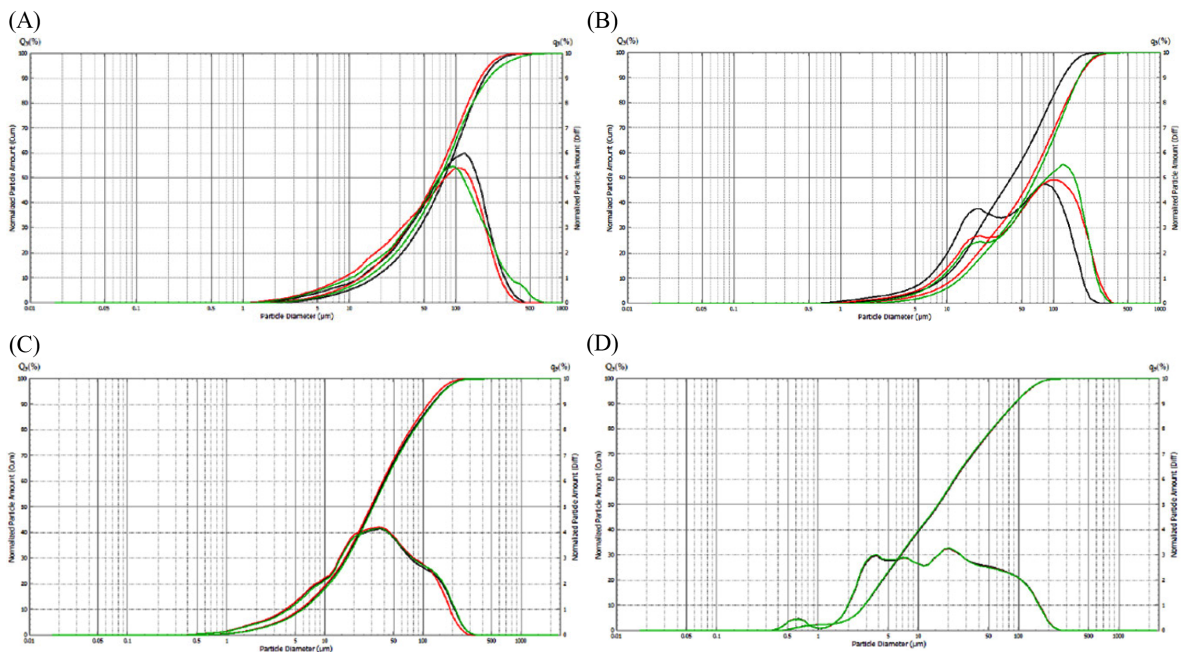


Fig. 2. Particle Size Distribution of freeze ground powder. (A) Barley sprout, (B) *Curcuma longa* L., (C) *Dendropanax moribifera* LEV., (D) *Phellinus linteus*.

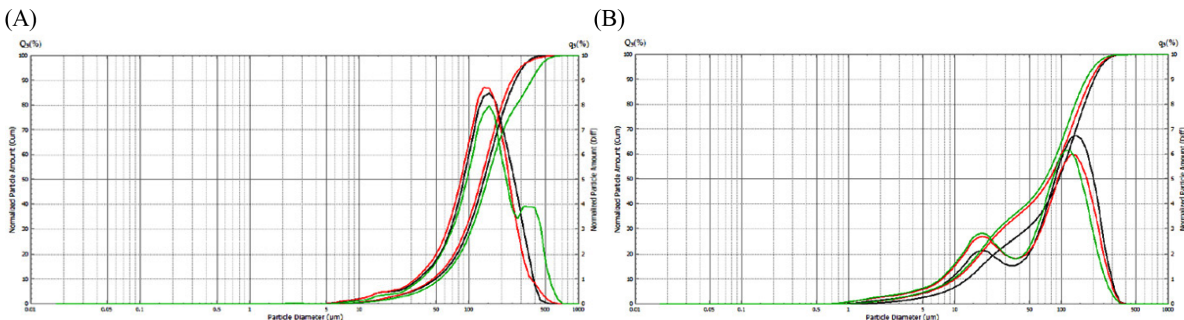
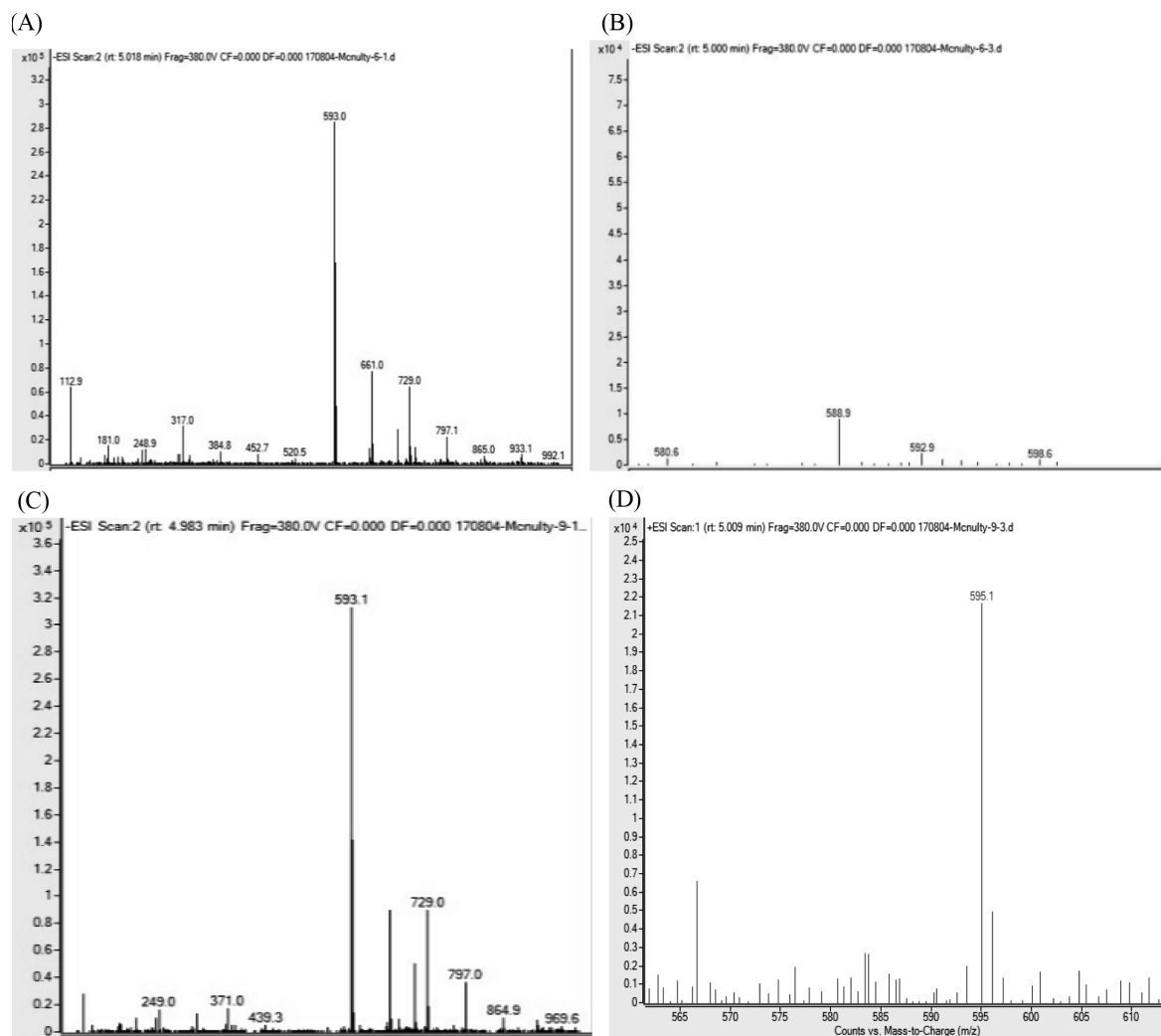
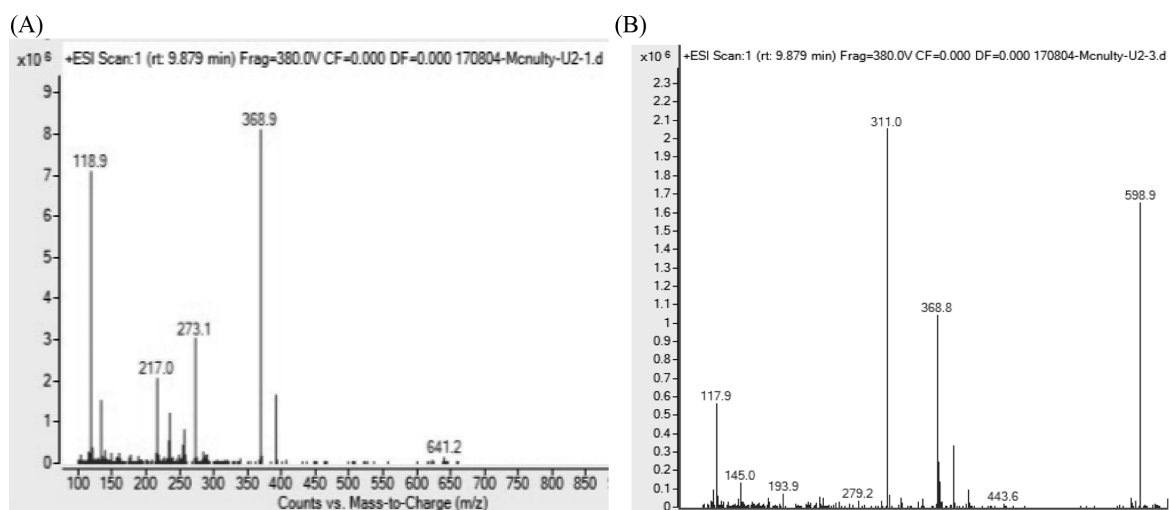


Fig. 3. Particle Size Distribution of ambient ground powder. (A) Barley sprout, (B) *Curcuma longa* L..



**Fig. 4.** LC/MS results of barley sprout. (A) molecular weight 594 before transmission of ambient ground, (B) molecular weight 594 after transmission of ambient ground, (C) molecular weight 594 before transmission of freeze ground, (D) molecular weight 594 after transmission of freeze ground.



**Fig. 5.** LC/MS results of *Curcuma longa* L.. (A) curcumin before transmission of ambient ground, (B) curcumin after transmission of ambient ground, (C) curcumin before transmission of freeze ground, (D) curcumin after transmission of freeze ground.



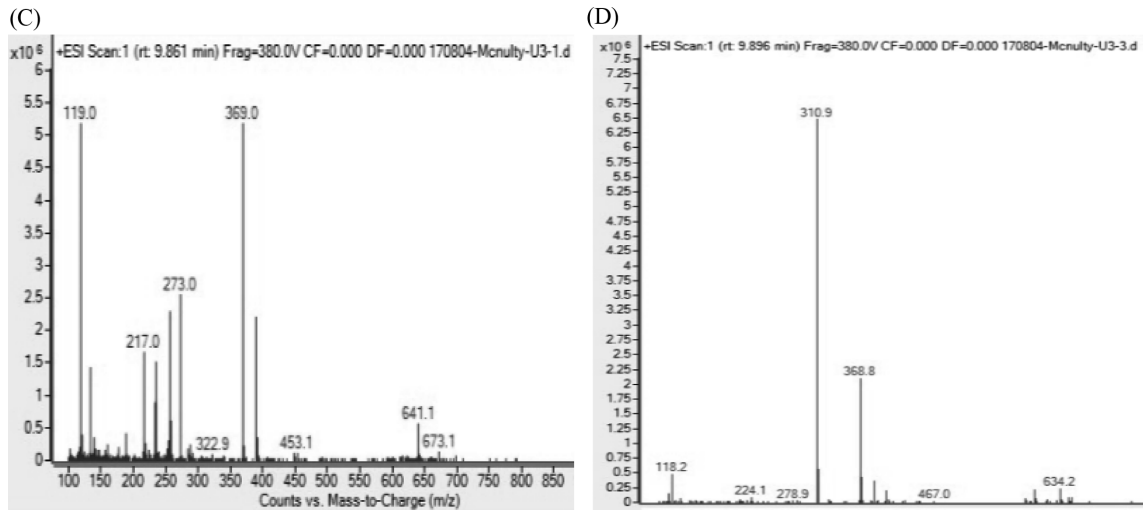


Fig. 5. LC/MS results of *Curcuma longa* L.. (A) curcumin before transmission of ambient ground, (B) curcumin after transmission of ambient ground, (C) curcumin before transmission of freeze ground, (D) curcumin after transmission of freeze ground (continued).

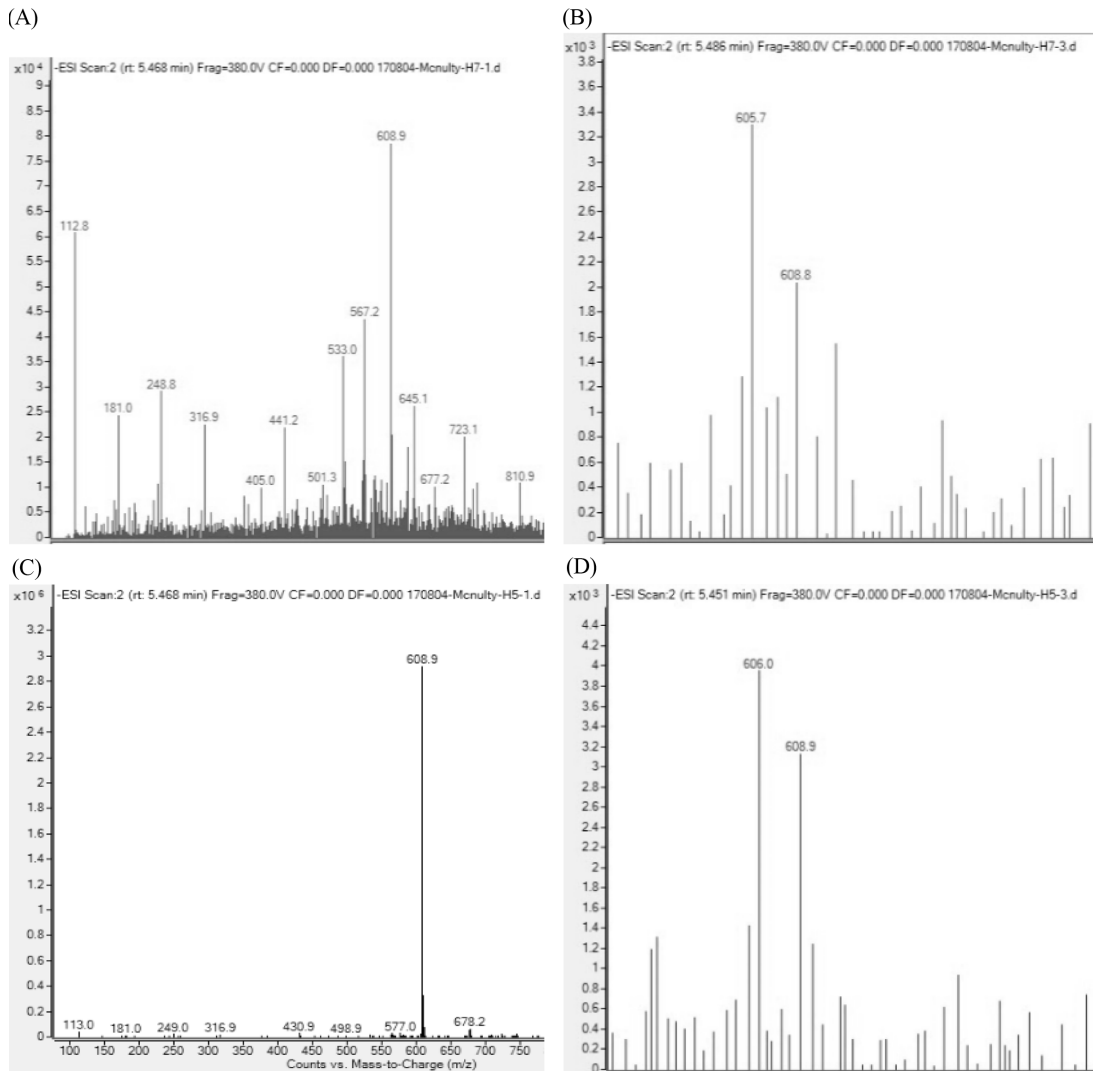


Fig. 6. LC/MS results of *Dendropanax moribifera* LEV.. (A) molecular weight 610 before transmission of extract, (B) molecular weight 610 after transmission of extract, (C) molecular weight 610 before transmission of freeze ground, (D) molecular weight 610 after transmission of freeze ground.

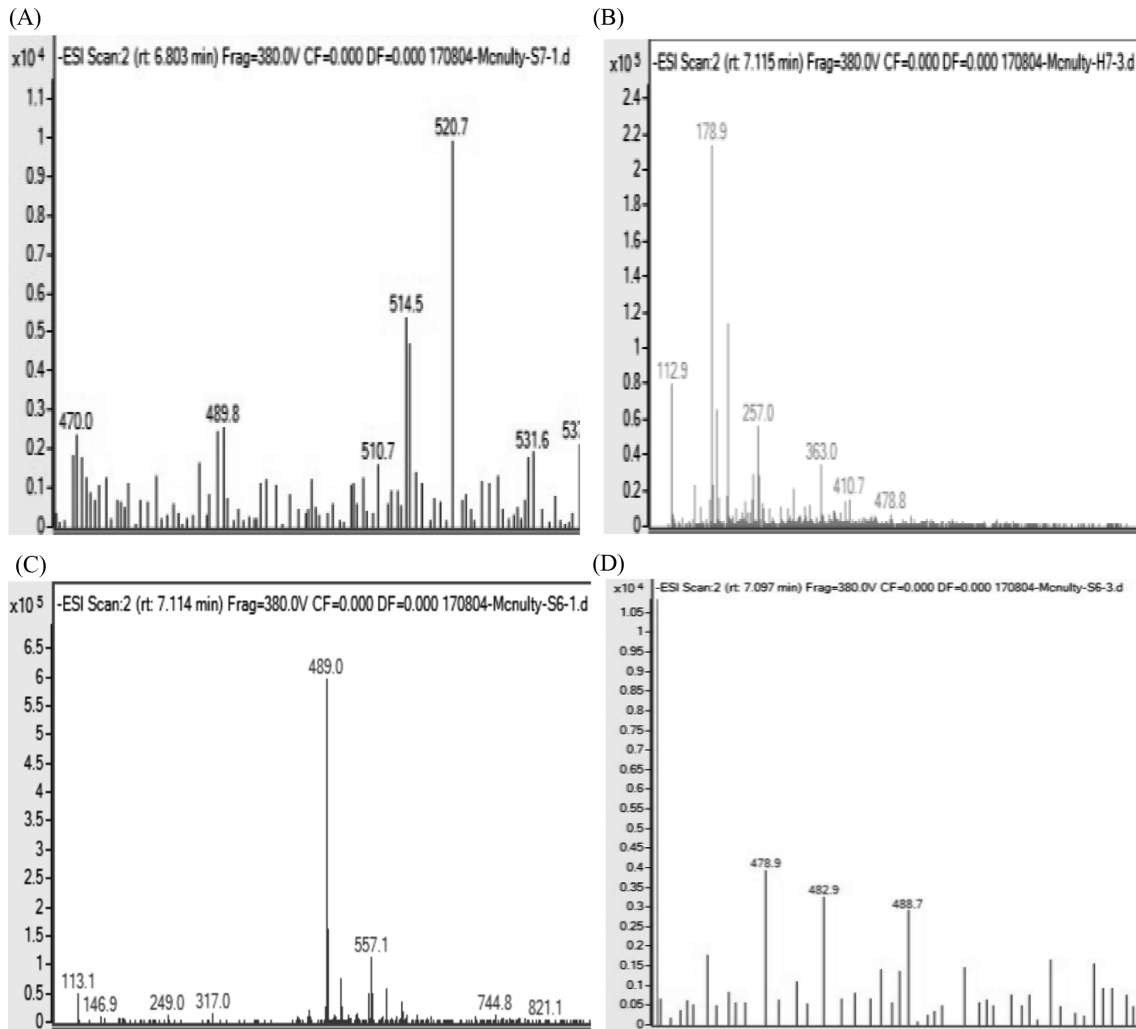


Fig. 7. LC/MS results of *Phellinus linteus*. (A) molecular weight 490 before transmission of extract, (B) molecular weight 490 after transmission, (C) molecular weight 490 before transmission of freeze ground, (D) molecular weight 490 after transmission of freeze ground.

Table 6. Digestion analysis of grinded botanical powders by protease

Materials	Observance after protease reaction		Fold increase of digesting rate (%)
	Ambient ground	Freeze ground	
Barley sprout	1.445	1.807	125.05
<i>Curcuma longa</i> L.	1.716	1.310	76.34
<i>Dendropanax moribifera</i> LEV.	0.165	1.190	721.21
<i>Phellinus linteus</i>	0.155	1.191	768.38

Each overwervance is  $p < 0.05$ .

tensity는  $7.8 \times 10^6$ 이고 막 투과후의 성분의 intensity는  $2.05 \times 10^3$ 로 투과율은 0.03%였다. 동결분쇄물의 막 투과전 성분의 intensity는  $2.9 \times 10^6$ 이고 막 투과후의 성분의 intensity는  $3.15 \times 10^3$ 로 투과율은 0.11%였다. 따라서, 황철의 유효성분인 rutin의 투과율은 일반분쇄에 비하여 동결 분쇄가 3.6배 이상 잘 투과하는 분쇄방법임이 확인되었다.

상황버섯의 LC/MS 분석 결과 hypholomine B로 추정되는 분자량 490 g/mol의 성분이 retention time 약 7.12 min

에서 확인하였다. 추출물의 막 투과전 성분의 intensity는  $0.25 \times 10^4$ 이고 막 투과후의 성분의 양은 0으로 투과율은 0%였다. 동결분쇄물의 막 투과전 성분의 intensity는  $6 \times 10^5$ 이고 막 투과후의 성분의 intensity는  $0.29 \times 10^4$ 로 투과율은 0.48%였다. 따라서 상황버섯의 hypholomine B로 추정되는 물질은 추출물에서는 투과되지 않았고, 동결분쇄물에서 hypholomine B로 추정되는 물질이 효과적으로 투과할 수 있게 하는 원료 가공방법임을 확인할 수 있었다.

## 소화율 분석

동결분쇄 방법이 일반분쇄에 비하여 보리쌀은 protease에 의한 단백질 소화율이 125.05% 높게 나와 단백질의 소화율을 올릴 수 있는 방법임이 확인되었다. 울금은 76.34%로 나타났다. 소화율이 차이가 나는 것은 보리쌀과 울금의 단백질 조성 또는 용출율의 차이인 것으로 추정되어 추가 분석이 필요하다. 황칠과 상황버섯은 추출물에 비하여 소화율이 721.21%, 768.38%로 7배 이상 protease에 의해 잘 소화되는 것으로 확인되었다(Table 6).

## 고 찰

본 연구에서 분쇄 방법의 차이에 따라 영양성분의 함량과 보존율이 차이가 나는 것이 확인되었다. 이러한 차이는 입자의 크기, 분쇄과정에서의 열발생에 의한 열변성 여부, 추출물과 분쇄물의 차이 등의 원인을 찾을 수 있다. 동결분쇄물은 일반분쇄에 비하여 열량, 지방, 탄수화물, 칼슘, 철분, 칼륨과 같은 영양소가 공통적으로 잘 보존되거나 높으므로 동결분쇄 기술은 식물류의 영양소 보존과 용출율을 증가시키고 단백질의 소화율을 증가시킬 수 있음이 확인되었다.

가공조건이 식물류 영양성분의 생체내 흡수율에 미치는 영향을 보기 위하여 인공지질막에서 투과율을 분석하였다. 보리쌀은 saponarin, 울금은 curcumin, 황칠은 rutin, 상황버섯은 hypolomin B로 추정되는 물질들의 투과율을 비교분석한 결과, 일반분쇄물에 비해 동결분쇄물의 투과율이 saponarin은 9.88배, curcumin은 3.11배로 잘 투과되는 것으로 나타났고, rutin은 추출물에 비해 동결분쇄물에서 3.6배 높게 투과되었고, hypolomin B는 추출물은 투과되지 않아 투과율을 동결분쇄물과 직접 비교할 수 없었으나 동결분쇄에서는 투과되는 것이 확인되었다. 따라서, 기능성 식물류의 영양성분이 생체막을 잘 투과시킬 수 있는 방법은 일반분쇄나 추출 보다 동결분쇄가 더 유리한 방법임을 확인하였다.

## 요 약

본 연구에서는 건조조건과 분쇄조건을 달리하거나 추출한 식물류의 영양성분 함량과 영양성분의 보존율을 비교 분석하였다. 동결분쇄한 식물류는 일반분쇄 하거나 추출한 식물류에 비하여 영양성분의 보존율이 높은 것으로 나타났다. 인공생체막에서 영양성분의 투과도를 분석한 결과 동결분쇄한 식물류의 영양성분이 잘 투과하였다. 분쇄과정에서 열발생을 최소화하고 입도를 작게 하는 동결분쇄 기술이 식물류 원료를 우수한 식물소재로 가공할 수 있는 기술임을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 2016년도 과학기술정보통신부의 재원으로 과학벨트기능지구지원사업의 지원(2017K0000717)과 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 고부가가치 식품기술개발사업의 지원(316058-3)을 받아 수행된 연구임.

## References

- Bergonzi MC, Hamdouch R, Mazzacava F, Isacchi B, Bilia AR. 2014. Optimization, characterization and in vitro evaluation of curcumin microemulsions. *LWT-Food Sci. Technol.* 59: 148-155.
- Bhupendra G, Goswami TK. 2016. Effect of grinding temperatures on particle and physicochemical characteristics of black pepper powder. *Powder Technol.* 299: 168-177.
- Bujard A, Voirol H, Carrupt P, Schappler J. 2015. Modification of a PAMPA model to predict passive gastrointestinal absorption and plasma protein binding. *Eur. J. Pharm. Sci.* 77: 273-278.
- Choi JH. 2008. Functional beverage development which has anti-cholesterol activity using extract of *Phellinus linteus*. International University of Korea. MSS Report No.1425044609.
- FAO. 2009. How to Feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization. Rome. Italia.
- Ishito K, Akiyama S, Tanaka Z. 2002. Improvement of grinding and classifying performance using a closed-circuit system. *Adv. Powder Technol.* 13: 363-375.
- Jin TY, Oh DH, Eun JB. 2006. Change of physicochemical characteristics and functional components in raw materials of Saengsik, uncooked food by drying methods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 188-196.
- Jung HJ. 2009. Development of functional food and food material from *Curcuma longa* L. with its biological activities. Chonnam National University. IPET Report No.1545000378.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2017. Korean Food Standards Codex. Korean Food Industry Association. Seoul. Korea. p. 57.
- Murthy CT, Suvendu B. 2008. Cryogenic grinding of black pepper. *J Food Eng.* 85: 18-28.
- KOICA. 2017. Sectoral Issue Report. Achieving sustainable production and consumption goals through reduced food loss and wasted waste (No. 3), Seongnam, Korea.
- Krejčová A, Pouzar M, Černohorský T, Pešková K. 2008. The cryogenic grinding as the important homogenization step in analysis of inconsistent food samples. *Food Chem.* 109: 848-854.
- Park YS, Jerome G, Ted G, Elizabeth F. 2013. State of the future. Kyobo Book, Seoul, Korea, p. 251.
- Righeschi C, Bergonzi MC, Isacchi B, Bazzicalupi C, Gratteri P, Bilia AR. 2016. Enhanced curcumin permeability by SLN formulation: The PAMPA approach. *LWT-Food Sci. Technol.* 66: 475-483.
- Rohit S, Rathore SS, Barnwal P, Aditi S, Lokesh S, Saxena SN. 2013. Effect of cryogenic grinding on recovery of diosgenin content in fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) genotypes. *Intl J. Seed Spices* 3: 26-30.
- Saxena SN, Sharma YK, Rathore SS, Singh KK, Barnwal P, Rohit S, Payal U, Anwer MM. 2015. Effect of cryogenic grinding on volatile oil, oleoresin content and anti-oxidant properties of cori-

- ander (*Coriandrum sativum* L.) genotypes. J. Food Sci. Technol. 52: 568-573.
- Seo UD. 2014. Development of lipid metabolism improvement for functional food with barley sprouts. National Institute of Crop Science. RDA Report No.1395031731.
- Sharma LK, Agarwal D, Rathore SS, Malhotra SK, Saxena SN. 2016. Effect of cryogenic grinding on volatile and fatty oil constituents of cumin (*Cuminum cyminum* L.) genotypes. J. Food Sci Technol. 53: 2827-2834.
- Singh KK, Goswami TK. 1999. Design of a cryogenic grinding system for spices. J Food Eng 39: 359-368.
- Song CH. 2011. Clinical nutrition therapy for senior. Korean J. Clin. Geri. 12: 79-87.
- Song HS. 2015. Development of dietary or medicinal biomaterials and biomarkers from *Dendropanax morbifera* Lev.. Chosun University. KFS Report No.11-1400000-000695-01.
- Versantvoort HM, Oomen G, Van E, Rempelberg JM., Sips A, nne JAM. 2005. Applicability of an *in vitro* digestion model in assessing the bioaccessibility of mycotoxins from food. Food Chem. Toxicol. 43: 31-40.
- Vizseralek G, Balogh T, Takacs-Novak K, Sinko B. 2014. PAMPA study of the temperature effect on permeability. Eur. J. Pharm. Sci. 53: 45-49.