

마치현 아라비노갈락탄의 압출 수용화와 항산화 특성

최애진¹ · 지호균 · 고보성² · 김양하³ · 이수정⁴ · 김철진 · 조용진 · 김종태*

한국식품연구원, ¹농진청 국립원예특작과학원, ²(주)서울의약연구소,
³이화여자대학교 식품영양학과, ⁴부천대학 식품영양과

Solubilization of Arabinogalactan by Extrusion from *Portulaca oleracea* L. and Its *In Vitro* Antioxidant Activity

Ae-Jin Choi¹, Ho-Kyun Jee, Bo Sung Ko², Yangha Kim,³ Soo-Jeong Lee⁴,
Chul-Jin Kim, Yong-Jin Cho, and Chong-Tai Kim*

Bio-Nano Research Group, Korea Food Research Institute

¹Department of Herbal Crop Research, National Institute of Horticulture & Herbal Science, RDA,

²Seoul Pharmal Laboratories, Inc.,

³Department of Food Nutrition, Ewha Womans University

⁴Department of Food and Nutrition, Bucheon College

Abstract

Water soluble polysaccharides (WSP) and arabinogalactan of *Portulaca oleracea* L. (POL) were increased after extrusion and commercial cellulase treatment. Arabinose and galactose content increased more about 1.5 times than those of raw POL, and rhamnose also increased about 2.6 times in WSP. High molecular weight fraction (I) of POL depending on extrusion condition including Ext I, Ext II and Ext III degraded into low molecular weight fraction (II) about 37, 29, and 26%, respectively, ranged from 67,000-69,000 Da of molecular weight. Especially, the molecular weight and composition of WSP with extruded, were increased from 9 to 13% in low molecular weight fraction, compared to those of raw POL. Solubilization and degradation of polysaccharides were a directly propotional to specific mechanical energy in POL extrusion. WSP obtained by extrusion at Ext I and Ext II were found to be effective antioxidants in different *in vitro* assays with regards to 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity and Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC). However, these results suggest that WSP obtained using extrusion and subsequent enzymatic treatment may be an effective method to produce arabinogalactan from POL and be used as a functional food ingredients.

Key words: *Portulaca oleracea* L., water soluble polysaccharides, arabinogalactan, extrusion, antioxidant activity

서 론

마치현(*Portulaca oleracea* L.)은 우리나라에 자생하는 천연물 중에서 중심자목 쇠비름과에 속하는 1년생 초본으로서 주로 들길이나 텃밭 등에서 5-9월에 걸쳐 주로 자생하며 오행초, 쇠비름, 장명채, 마치채 등으로 불리기도 한다. 줄기와 잎은 양념 등으로 버무려 먹기도 하고 ‘본초강목’과 ‘동의보감’ 등에는 마치현을 충독 및 사독 등의 해독제로도 많이 활용되어 왔다고 전해지고 있다(Lee, 1999).

또한 마치현은 수천년 전부터 그리스, 페르시아, 인도, 중동 등지와 같은 전세계 지역에서 식용과 사료는 물론 항피혈병제, 방부제, 진정제, 이뇨제, 구충제 및 피부진정제 등과 같은 민간요법 치료제로 사용되어 왔다(Habtemarian et al., 1993; Parry et al., 1993; Chan et al., 2000). 마치현에는 L-noradrenaline, dopamine, dopa와 칼륨, 유기산, 아미노산(glutamic acid, aspartic acid, alanine) 및 monoterpene 배당체인 portulose A 등의 생리활성 성분이 함유되어 항암, 심장병, 및 진정효과 작용을 하는 것으로 알려져 있다(Sakai et al., 1996; Seo et al., 2003; Chen et al., 2003). 또한 마치현의 잎이나 줄기 및 전초에서 어유에 풍부한 것으로 알려져 있는 γ -linoleic acid와 같은 ω -3 지방산의 함량이 높은 것으로 보고되었다(Sridhar & Lakshminarayana, 1993; Liu et al., 2000; Omara-Alwala et al., 1991). 마치현은 생육조건과 생장기간이 잎의 단백질과 회분함량의 증가, 뿌

Corresponding author: Chong-Tai Kim, Food Bio-Nano Research Group, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea

Tel: +82-31-780-9138; Fax: +82-31-780-9257

E-mail: ctkim@kfri.re.kr

Received January 30, 2009; revised 1st February 24, 2st July 24, 2009; accepted July 24, 2009

리부에서의 수용성 탄수화물, fructose 및 fructan 함량의 증가 및 잎과 자엽전체에서의 P, Ca 및 K의 함량 증가와 같은 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Mohamed & Hussein, 1994). 아라비노갈락탄은 생리활성과 면역력 증진, 고분자 용액 특성 및 식이섬유소 등과 같은 기능특성을 제공하기 때문에 기능성 식품소재로 이용되고 있다(Kelly, 1999). 현재 아라비노갈락탄 제품은 주로 낙엽송 나무 (*Larix occidentalis*)에서 추출분리하여 순도를 조절한 제품이 미국에서 시판되고 있으며, 저분자량 아라비노갈락탄은 항염증, 항보체 활성화 및 항알러지 효과를 제공하고, 고분자량 아라비노갈락탄은 자연살해세포 파괴능과 세망내피세포의 식균작용 증가시키는 작용을 하는 것으로 보고되었다(D'Adamo, 1996).

한편, 국내에서는 마치현의 메탄올 추출물을 사용하여 항균특성을 분석한 결과 벤조산에 상응하는 항균효과를 나타내어 식품의 부패 및 식중독이 우려되는 식품의 항균제로 사용할 가능성을 제시하였고(Lim & Kim, 2001), 추출물이 DPPH radical 소거능과 지질산화 억제효과에 대한 항산화 특성이 있는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2003). 한편, 마치현 추출물의 담배에 있어 니코틴 성분 제거효과(Bae, 1999), 간해독, 이노 및 항부종 활성화(Lim & Suh, 2000) 등에 관한 연구가 보고되었다. 그리고 Lee et al. (2006)은 마치현으로부터 추출 분리한 수용성 고분자 물질이 지방세포에서 지방분해 및 호르몬 민감성 지방분해 효소 유전자 발현에 영향을 주는 것을 확인함으로써 항비만 생리활성이 있음을 제시하였다.

마치현은 약 0.4% 정도의 산성 및 중성 점질혼합물인 아라비노갈락탄 고분자 물질을 함유하고 있는데, 산성분획은 α -(1→4)-결합에 의한 갈락트론산으로 구성되었으며, 중성분획은 아라비노오스(41%)와 갈락토오스(43%)의 화합물로 이루어져 있다(Amin & El-Deeb, 1977). 마치현으로부터 아라비노갈락탄 고분자를 추출하기 위하여 용매와 효소 처리 등의 방법에 통하여 당조성이 다른 수용성 고분자를 획득할 수 있으며, 효소분해에 의하여 분자량 61,000~2,200,000 Da 범위를 갖는 수용성 고분자를 제조할 수 있다(Choi et al., 2007). 이러한 마치현의 수용성 고분자 물질은 카제인 및 비이온성 유화제(Tween 80, Tween 20) 등과 혼합물 형성 시 유화 및 안정화 촉진효과를 나타내어 식품유화제로 사용할 수 있음이 확인되었다(Garti et al., 1999a; Garti et al., 1999b). 한편, 식물 세포벽을 구성하고 있는 다당류 물질들은 일반적으로 물에 불용성 상태로 존재하며, 따라서 생체이용성 및 생리기능성 등의 증진효과를 제공하는 기능성 식품소재로 사용하기 위하여는 물리화학적 처리를 통한 적정 크기의 분자량을 갖는 제품으로 생산할 경우 산업적 활용도가 높다. 이러한 관점에서 인삼을 구성하는 세포벽 식이섬유의 수용화 촉진을 위하여 압출성형 처리할 경우 비전분 다당류의 용해도가 증가됨으로써

유용성분의 효율적 생산과 이용성이 증진된다는 연구가 보고되었다(Na et al., 2004; Lee et al., 2006). 이에 본 연구에서는 마치현에 함유된 아라비노갈락탄의 물리적 변형을 통한 수용성을 증대를 위하여 압출성형 특성과 생산된 마치현 압출성형물의 항산화 및 면역활성을 분석하였다.

재료 및 방법

재료

가평 지역 야산에서 생육하고 있는 마치현(*Portulaca oleracea* L.)을 2005년 9월에 채취하여 동결건조한 후 분쇄하여 -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다. 마치현 고분자 다당류의 분해를 위하여 Novo사(Denmark)의 Pectinex 5XL, Viscozyme L, Alcalase 및 Flavourzyme 등을 사용하였다.

마치현의 전처리

압출성형 처리한 마치현의 저분자 물질은 시료의 20배의 80% 에탄올을 첨가하여 상온에서 24시간 교반하면서 추출하였으며, 지질과 색소 성분은 각각 20배의 hexane과 acetone을 첨가하여 상온에서 2시간씩 교반하여 추출하였다. 각 성분이 제거된 시료는 24시간 건조하여 다음 추출 단계에 사용되었으며, 각 추출용매는 50°C에서 감압농축하여 추출 수율을 측정하였다.

마치현의 압출수용화 처리

마치현 세포벽 수용화를 위한 압출수용화 처리는 L/D의 비가 20인 동방향 완전 맛물림형 이축압출성형장치(corotating, intermeshing type twin-screw extruder, Biex-DNDL 44, Bühler Brothers Co., Switzerland)를 사용하여 Φ 2 mm인 원형사출구를 사용하여 실시하였다. 마치현을 5 kg/hr씩 투입하면서 스크류 회전속도 270 rpm에서 바렐의 가열온도를 120, 140 및 160°C로 각각 달리 처리한 3종류의 마치현 압출물 시료를 확보하였으며, 압출성형의 상세한 조건은 Table 1과 같다.

마치현 다당류로부터 수용성 및 산 용해성 다당류의 분리 마치현으로부터 수용성 다당류는 100°C의 가열조건, 산 용해성 다당류는 0.1 N 염산용액으로 전보의 방법(Choi et

Table 1. Extrusion condition for *Portulaca oleracea* L.

Sample code	Moisture content (%)	Die temperature (°C)	SME ⁴⁾ (kWh/ton)
Ext I ¹⁾	35.5	128	567
Ext II ²⁾	27.2	133	538
Ext III ³⁾	30.5	146	510

¹⁾Extruded at 120°C of barrel temperature; ²⁾Extruded at 140°C of barrel temperature; ³⁾Extruded at 160°C of barrel temperature; ⁴⁾Specific mechanical energy.

Table 2. Operating condition of GC-FID for the determination of monosaccharides

Instrument	Hewlett Packard chromatograph (Agilent 6890 Series; Wilmington, DE, USA)20
Column	SP-2330 column (30 m; 0.25 mm i.d.; 0.2 um film thickness; Supelco, Bellefonte, PA, USA)
Oven temp.	230°C
Injector temp.	230°C
Detector temp.	250°C
Carrier gas	N ₂
Injection volume	4 µL

al., 2007)으로 실시하여 분획물을 획득하였다.

마치현 다당류의 효소분해

압출성형 처리한 마치현 세포벽의 효소적 분해는 전보에서(Choi et al., 2007) 실시한 Pectinex 5XL과 Viscozyme L 및 이 두 종류의 효소를 동량비로 혼합한 복합효소의 분해실험 결과, 분해특성이 우수한 효소인 Viscozyme L(Novo Co., Denmark)을 사용하여 처리하였다.

효소분해 마치현 다당류의 특성분석

마치현 다당류 추출물의 총탄수화물 함량은 추출액을 적정 농도로 희석하여 phenol-sulfuric acid법(Dubois et al., 1956)에 의하여 측정하였으며, 이 때 표준물질로서 glucose를 이용하였다. 마치현 다당류의 당조성 분석은 Uppsala 방법(Theander et al., 1995)에 의하여 실시하였다. 즉, 마치현 시료의 산 가수분해는 건조시료 250-500 mg에 12 N-H₂SO₄ 3 mL를 넣고 30°C에서 1시간 동안 반응시키고 74 mL 증류수와 표준시약 myo-inositol를 10 mL 첨가한 후 1시간 동안 autoclaving한 다음, glass filter로 여과하여 가수 분해액을 제조하였다. 다당류 분석을 위하여 분해액을 alditol 유도체화 하여 ethyl acetate로 추출하여 GC로 분석하였다. GC의 분석조건은 Table 2와 같다. 컬럼은 SP-2330 (30 m; 0.25 mm ID; 0.2um film thickness; Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 장착하여 Hewlett Packard Chromatograph(Agilent 6890 Series; Wilmington, DE, USA)를 사용하였다. Oven의 온도는 230°C, detector 온도는 250°C, 내부 표준물질로는 myo-inositol(Sigma Chemicals Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. 마치현 다당체 함량은 검출된 모든 단당류에 5탄당은 0.88, 6탄당은 0.9의 factor를 곱하여 계산하였다.

분자량 분포도 측정

압출성형 마치현의 분자량 분포도 측정은 gel permeation chromatography(GPC)를 이용하여 분석하였으며, 분석조건은 Table 3에 나타내었다. 시료를 0.3% NaCl 용액에 용해시킨 후 GPC column(Shodex SB-806, Shoko Co., Seoul, Korea)으로 유속 1.0 mL/min, 온도 30°C 조건에서 refractive index detector를 사용하여 측정하였다. 표준 분자량은 Shodex

standard P-82 pullulns(Shoko Co., Seoul, Korea)을 2.0 mg/mL의 농도로 분자량 범위 78.8×10⁴, 40.4×10⁴, 21.2×10⁴, 11.2×10⁴, 4.73×10⁴, 2.28×10⁴, 1.18×10⁴ Da과 glucose를 사용하였다.

DPPH free radical 소거법에 의한 항산화 활성 측정

마치현 80% ethanol 추출물을 사용한 항산화활성은 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)에 의한 전자 공여능 측정 방법을 사용하였다. 마치현 시료를 80% methanol에 5 mg/ml의 농도가 되도록 용해시킨 다음 희석액 0.1 mL에 100 µM DPPH 시약 2.9 mL을 가하고 교반한 후, 실온의 암실에서 30분 정치 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구로는 시료 대신 80% methanol을 0.1 mL 첨가하였으며, 시료의 blank는 DPPH 대신 80% methanol 2.9 mL를 첨가하였다. 시료를 첨가하지 않은 대조구의 흡광도를 1/2로 감소시키는데 필요한 양(µg/mL)을 IC₅₀으로 항산화 활성을 나타냈으며, 기존의 항산화제인 아스코르빈산과 비교분석하였다.

TEAC에 의한 항산화 활성 측정

Trolox equivalent antioxidant capacity(TEAC)는 electron transfer antioxidant capacity를 측정하는 것으로서 Van den Berg et al.(1999)의 방법을 변형하여 사용하였다. ABTS (2,2'-azono-bis(3-ethylbenzothiazolin-6-sulphonate))는 hydroxy, peroxy, alkoxy, inorganic radical 등과 같은 유리기와 반응하여 안정된 양이온(ABTS⁺)을 생성하므로 ABTS⁺ 용액과

Table 3. Operating condition of gel permeation chromatography

Instrument	ShodexRI-101
Column	ShodexSB-806HQ GPC column (300 mmL:8 mm I.d.; 030609 gel lot number:Showa Denko K.K., Japan) ShodexSB-806 M HQ GPC column (300 mmL:8 mm I.d.; 040319 gel lot number:Showa Denko K.K., Japan)
Column temperature	30°C
Eluent	0.3% NaCl
Flow rate	1.0 mL/min
Detector	Refractive index detector
Injection volume	100 µL

과황산칼륨 용액을 반응시켜 생성되는 ABTS⁺ 라디칼의 환원 반응에 의해 측정하였다. 7 mM ABTS⁺ 용액에 2.45 M 과황산칼륨 용액을 첨가하고 분석 직전에 ABTS⁺ 용액을 1/30로 희석하여 사용하였다. DMSO(dimethyl sulfoxide)에 용해시킨 시료 10 µL와 100 µM ABTS⁺ 용액 990 µL을 혼합하여 실온의 암실에서 20분 방치한 다음, 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. Positive control은 Trolox(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2 carboxylic acid)와 ascorbic acid를 사용하였으며, negative control은 시료 대신 DMSO 10 µL를 첨가하였고, control에 대한 각 시료 농도별 inhibition(%)은 다음과 같이 계산하여 최종적으로 IC₅₀ 값을 구하였다.

$$\text{Inhibition(\%)} = \frac{\text{Control absorbance} - \text{Sample absorbance}}{\text{Control absorbance}} \times 100$$

통계처리

압출성형 처리 다당체의 이화학적 및 항산화 특성에 대한 결과는 통계분석 SAS 8.2를 이용하여 ANOVA test와 Duncan의 다중범위검정(유의수준 5%)을 이용하였다.

결과 및 고찰

마치현 다당체 추출 전처리 단계에서 주요 성분의 수율

마치현의 압출성형 처리 후 다당체 추출 전처리 단계에 있어서 주요 성분들의 수율은 Table 4와 같다. 압출성형하지 않은 마치현 원료 시료에 비하여 압출성형 온도가 120, 140 및 160°C로 증가할수록 Ext I, Ext II 및 Ext III에 있어 생리활성 물질을 함유하고 있는 저분자 물질의 함량이 유의적($p < 0.05$)으로 증가하는 결과를 나타냈다. 또한, 다당체중의 지질함량은 대조구 시료에 비하여 유의적($p < 0.05$)으로 낮은 함량을 보였는데, 이것은 세포벽이 붕괴되면서 세포벽에 존재하는 지질이 고온조건에서 추출이 증진됨과 동시에 손실됨으로써 압출성형 처리된 시료중에는 낮은 지질함량을 보인 것으로 예측된다. 압출성형 처리후 색소성분은 원료 마치현과 비교할 때 유의적($p < 0.05$)인 차이는

Table 4. Extractability of low molecules, lipid and pigment from *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition (Unit: %)

Samples	Fraction of low molecules	Lipid	Pigment
Raw ¹⁾	16.24±0.20 ^{d5)}	3.75±0.10 ^b	0.75±0.05 ^a
Ext I ²⁾	17.68±0.14 ^c	0.63±0.04 ^c	0.58±0.02 ^c
Ext II ³⁾	18.17±0.20 ^b	0.88±0.03 ^b	0.57±0.03 ^b
Ext III ⁴⁾	18.80±0.05 ^a	0.57±0.03 ^c	1.10±0.05 ^c

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p < 0.05$).

보였으며, 압출성형 온도 160°C로 처리한 경우 색소의 함량이 약간 높았는데, 이것은 세포벽의 붕괴와 더불어 색소 물질의 용출정도가 증가하였기 때문인 것으로 해석된다.

마치현 다당체의 추출율

압출성형 처리한 마치현을 다당류 분해효소 Viscozyme L을 사용하여 분해하였을 경우 수용성 다당류(WEP)의 추출율은 진보(Choi et al., 2007)에서 보고한 결과와 비교해 볼 때 단순 추출 및 효소처리 추출에 비하여 각각 4.3배 및 2.3배 유의적($p < 0.05$)으로 증가한 결과이며, 산용해성 다당류(HEP)의 경우는 단순추출 및 효소처리 추출과 큰 차이를 나타내지 않았으나, 원료와 압출성형 처리시료간에는 유의적($p < 0.05$)인 차이를 보였다. 압출성형 온도변화에 따른 마치현 WEP 및 HEP의 수율을 보면 압출성형 온도 120°C의 30% 보다 140 및 160°C로 처리한 경우 각각 33 및 32%의 수율을 나타내어 압출성형 온도에 영향을 받는 것을 예측할 수 있다. 이러한 결과는 마치현의 압출성형 중 고온, 고압 및 전단력에 의하여 마치현 다당체의 수용화가 증대함을 확인할 수 있다. 반면, 산용해성 다당류(HEP)의 경우 원료 시료보다 약간씩 감소한 수율을 나타냈다(Table 5). 압출성형 공정에 의한 식물 세포벽의 효율적인 붕괴와 유용물질의 부가가치화 기술은 최근 인삼 섬유질중에 존재하는 다당체의 수용화, 구성 성분들의 생산 수율 및 체내이용성 증대 등과 같은 장점을 제공하면서 산업적인 측면에서 활용범위가 넓은 것으로 알려져 있다(Na et al., 2004; Jee et al., 2006).

마치현 다당체의 총탄수화물 함량

압출성형 처리한 마치현을 다당류 분해효소 Viscozyme L로 분해 후 획득한 다당체 WEP 및 HEP의 총탄수화물 함량 측정 결과, WEP는 압출성형 처리하지 않은 원료에 비하여 압출성형 처리한 Ext 120 및 Ext 160 시료에 있어 총당 함량이 유의적($p < 0.05$)으로 높게 나타났으며, 반면에 HEP는 원료에 비하여 압출성형 처리한 시료의 총당 함량이 유의적($p < 0.05$)으로 낮게 나타났(Table 6). 이러한 결과는 압출성형 과정에서 저분자 당류물질이 고온고압 조건

Table 5. Yield of water soluble polysaccharides(WSP) and acid soluble polysaccharides(HSP) depend on the extrusion temperature (Unit: %)

Samples	WSP	HSP
Raw ¹⁾	13.22±0.10 ^{d5)}	6.52±0.22 ^a
Ext I ²⁾	30.02±0.14 ^c	5.44±0.19 ^b
Ext II ³⁾	33.23±0.08 ^a	5.73±0.04 ^b
Ext III ⁴⁾	32.10±0.19 ^b	5.57±0.13 ^b

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p < 0.05$).

Table 6. Water soluble and acid soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition

Samples	(Unit: %)	
	WSP	HSP
Raw ¹⁾	29.28±0.30 ^{b5)}	21.22±0.44 ^a
Ext I ²⁾	30.77±0.82 ^a	9.62±0.23 ^b
Ext II ³⁾	28.09±0.89 ^b	9.65±0.10 ^b
Ext III ⁴⁾	31.68±0.28 ^a	9.81±0.04 ^b

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p<0.05$).

에서 갈변화함으로써 HEP중에는 상대적으로 당의 함량이 감소한 것으로 예측할 수 있다.

마치현 다당체의 당조성

압출성형 처리 온도에 따른 마치현 다당체(WSP)의 당조성 결과는 Table 7에 나타내었다. 원료 마치현을 구성하는 다당체의 당조성은 arabinose와 galactose가 주성분을 이루고, 소량의 rhamnose가 존재하며 우론산은 함유되지 않았다. 마치현은 약 0.4% 정도의 점질성 물질이 산성 및 중성 다당체로 존재하는데, 산성 다당체는 α-(1→4) 결합을 한 갈락트론산이 칼슘염의 상태로 60% 정도가 존재하며, 에스테르화된 갈락트론산은 존재하지 않는다. 반면, 중성 다당체는 아라비노스와 갈락토오스 및 소량의 람노스로 구성성분을 이룬다(Amin & El-Deeb, 1977). 한편, 펙틴질 다당체의 수용성 물질 있어 우론산 함량이 낮으면 중성 다당체의 주성분인 비펙틴 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스의 수용화 정도가 높게 진행된 것을 판단할 수 있는 지표로 사용할 수 있다(Na et al., 2004). 압출성형 처리후 효소분

해한 마치현의 당조성은 아라비노스와 갈락토오스 함량이 원료 마치현보다 1.5배 증가하였으며, 람노스 함량도 2.6배 증가한 유의적($p<0.05$)인 결과를 보였다. 반면, 포도당 함량은 원료보다 압출성형 처리한 경우 1/15 정도로 크게 감소하였다. 이같은 결과는 총당 함량 설명에서 전술한 사실과 같이 고온고압 조건에서 마치현에 함유된 포도당은 갈변반응이 수반되면서 중합체로 전환된 것으로 설명할 수 있다. 따라서, 마치현에 함유된 아라비노갈락탄의 효율적인 추출 및 용해화 측면에서 볼 때 본 연구에서 실시한 압출성형 조건은 적절한 생산조건임을 확인할 수 있다.

마치현 다당체의 분자량 분포

압출성형 처리한 마치현 다당체(WEP)의 분자량 분포와 구성은 원료 마치현에 비하여 압출성형 온도에 비례하여 변화를 보였다. 즉, 압출성형 처리효과로 고분자 분획(I)은 Ext I, Ext II 및 Ext III 시료에서 각각 37, 29 및 26% 정도가 저분자 분획(II)으로 분자 재배열이 발생함과 동시에 66,000-74,000 Da범위의 분자량을 갖는 다당체로 구조변형이 되는 유의적($p<0.05$)인 효과를 보였다(Table 8, Fig. 1). 특히, 저분자 분획의 분자량과 조성비에 있어서 압출성형 처리한 마치현은 처리하지 않은 원료에 비하여 9-13% 정도 증가한 결과는 보였는데, 이러한 현상은 마치현 고분자 다당류의 붕괴와 비전분성 탄수화물의 수용화와 같은 복합적인 효과에 따른 것으로 예측할 수 있다. 이같은 다당류의 붕괴 및 변형 정도는 압출성형 처리시 투입된 기계적 소모 에너지(SME)와 비례적인 상관성을 보였다(Table 1). 따라서, 마치현은 압출성형 과정중 고온 및 물리적 전단력에 의하여 마치현을 구성하는 고분자 다당체가 붕괴되어

Table 7. Sugar composition of water soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition

Sugar	(Unit: %)			
	Raw ¹⁾	Ext I ²⁾	Ext II ³⁾	Ext III ⁴⁾
Rhamnose	4.31±0.22 ^{b5)}	11.50±0.32 ^a	11.45±0.34 ^a	11.43±0.18 ^a
Arabinose	29.23±0.28 ^c	36.25±0.14 ^a	34.82±0.58 ^b	36.58±0.13 ^a
Galactose	24.61±0.33 ^c	48.05±0.17 ^a	48.08±0.04 ^a	47.32±0.34 ^b
Glucose	40.14±0.41 ^a	2.38±0.27 ^b	2.57±0.19 ^b	2.62±0.37 ^b
Arabinose+Galactose	53.84±0.61	84.3±0.31	82.9±0.62	83.9±0.47

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same rows are significantly different ($p<0.05$).

Table 8. Molecular weight distribution and composition of water soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition

Sample	Fraction I		Fraction II	
	Mw	Composition (%)	Mw	Composition (%)
Raw ¹⁾	1,836,000±9700 ⁵⁾	26.10	61,000±100 ^d	73.90
Ext I ²⁾	1,376,000±1000 ^b	16.48	68,000±250 ^b	83.52
Ext II ³⁾	1,340,000±20,000 ^c	18.56	74,000±400 ^a	80.98
Ext III ⁴⁾	1,303,000±2600 ^d	19.22	66,000±600 ^c	80.67

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p<0.05$).

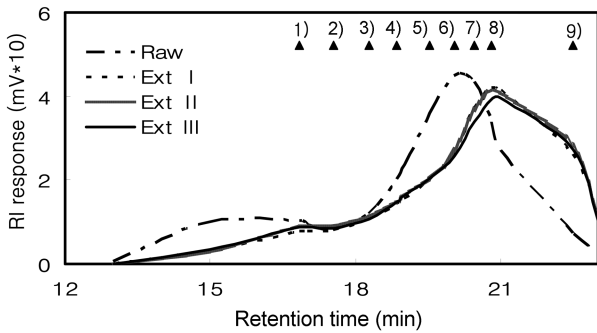


Fig. 1. Molecular distribution of water soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition.

Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; Ext I, extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; Ext II, extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; Ext III, extrudate of *Portulaca oleracea* L. extruded at 160°C. Standard of MW: 1) 7.88×10^5 , 2) 4.04×10^5 , 3) 2.12×10^5 , 4) 1.12×10^5 , 5) 4.73×10^4 , 6) 2.28×10^4 , 7) 1.18×10^4 , 8) 5.9×10^3 , 9) glucose.

분자량이 감소함과 동시에 다당류가 가지형태로 얽히는 구조(branched)로 변형됨을 확인하였으며, 이같은 예측은 식물성 다당류의 추출 및 3차원 구조특성을 보고한 연구결과로 설명할 수 있다(Eriksson et al., 1997; Pérez et al., 2000).

마치현 다당류의 항산화 활성

압출성형 후 효소처리를 통하여 얻어진 마치현 수용성 다당류(WEP)의 생리활성 효과를 측정하기 위하여 DPPH에 의한 자유 라디칼 소거활성을 분석하여 결과를 Table 9에 나타내었다. 마치현 다당류의 자유 라디칼 소거활성은 아스코르빈산에 비하여 월등히 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 압출성형 처리를 한 수용성 다당류의 경우 압출성형 처리 온도 120°C 및 140°C인 경우 자유 라디칼 소거활성이 압출성형 처리하지 않은 원료에 비하여 유의적($p < 0.05$)으로 높게 증가하였으며, 압출성형 온도가 160°C인 경우 120°C와 140°C 처리 시료에 비하여 유의적($p < 0.05$)으로 감소하는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 압출성형 과정에서 마치현에 존재하는 페놀계 화합물의 구조변형과 활성도의 상관관계에 기인하는 것으로 예측되며, 정확한 원인

Table 9. DPPH radical scavenging activity of water soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition

Sample	IC ₅₀ (/mL)
Ascorbic acid	2.74±0.09 ²⁵⁾
Raw ¹⁾	88.75±0.07 ^a
Ext I ²⁾	76.85±0.35 ^d
Ext II ³⁾	78.32±0.15 ^c
Ext III ⁴⁾	83.01±0.12 ^b

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ²⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p < 0.05$).

Table 10. TEAC free radical scavenging activity of water soluble polysaccharides of *Portulaca oleracea* L. depend on the extrusion condition

Sample	IC ₅₀ (/mL)	TEAC (IC ₅₀ base)
Trolox	2.63±0.02 ²⁵⁾	1.07±0.06 ^b
Ascorbic acid	1.65±0.01 ^f	1.54±0.03 ^a
Raw ¹⁾	35.98±0.09 ^a	0.07±0.01 ^c
Ext I ²⁾	27.90±0.04 ^c	0.09±0.00 ^c
Ext II ³⁾	27.03±0.02 ^d	0.10±0.01 ^c
Ext III ⁴⁾	29.48±0.27 ^b	0.09±0.00 ^c

¹⁾Raw, *Portulaca oleracea* L. without extrusion; ²⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 120°C; ³⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 140°C; ⁴⁾Extrudate of *Portulaca oleracea* L. at 160°C. ²⁵⁾Means±SE with different superscripts in the same columns are significantly different ($p < 0.05$).

구명은 추후 연구를 통하여 밝혀야 할 것으로 판단된다.

한편, 압출성형 처리 후 얻어진 마치현 수용성 다당류의 ABTS 자유 라디칼 소거활성을 IC₅₀ 값으로 분석한 결과 (Table 10) trolox나 아스코르빈산에 비하여 라디칼 소거능이 높지 않았지만, 압출성형 처리하지 않은 마치현에 비하여 압출성형 처리 시료 모두 유의적($p < 0.05$)으로 높은 라디칼 소거활성을 나타내었다. 압출성형 처리 시료 중에서는 압출성형 온도가 140°C인 시료가 유의적($p < 0.05$)으로 가장 높은 ABTS 자유 라디칼 소거활성을 나타내었다. 반면, trolox의 IC₅₀ 값을 1로 놓고 다른 시료들의 ABTS 자유 라디칼 소거활성을 비교해 본 결과, 압출성형을 하지 않은 마치현 시료와 압출성형 처리를 달리한 마치현 시료 간의 유의적인 차이는 없었다.

요 약

마치현을 압출성형 및 효소분해 처리할 경우 원료에 비하여 수용성 고분자 다당류 및 아라비노갈락탄 함량이 증가하였다. 마치현 수용성 다당류 중 아라비노스와 갈락토오스의 함량이 원료 마치현보다 1.5배 증가하였으며, 람노스 함량도 2.6배 증가한 유의적인 결과를 보였다. 압출성형 처리효과로 고분자 분획(I)은 Ext I, Ext II 및 Ext III 시료에서 각각 37, 29 및 26% 정도 저분자 분획(II)으로 분자 재배열이 발생함과 동시에 66,000-74,000 Da 범위의 분자량을 갖는 다당체로 구조변형 되었다. 특히, 저분자 분획의 분자량과 조성비에 있어서 압출성형 처리한 마치현은 처리하지 않은 원료에 비하여 9-13% 정도 증가하여 유의성이 있었다. 이같은 다당류의 붕괴 및 변형 정도는 압출성형 처리 시 투입된 기계적 소모 에너지와 비례적인 상관성을 보였다. 압출성형 처리를 한 수용성 다당류의 경우 압출성형 처리 온도 120°C 및 140°C인 경우 자유 라디칼 소거활성이 압출성형 처리하지 않은 원료에 비하여 높게 증가하였다. 상기와 같은 마치현 유래 아라비노갈락탄의 항산화 활성 기능의 결과에 비추어볼 때 보다 폭 넓은 범위의 분자량을 갖는 분획물 제조 및 생리활성 평가실험을

지속적으로 추진한다면 새로운 기능성 식품소재로 활용할 가치가 있다고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 지원한 2009년도 “식품나노기술개발사업” 연구비의 지원으로 수행한 결과이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Amin ES, El-Deeb SM. 1977. Isolation of *Portulaca oleracea* (REGLA) mucilage and identification of its structure. *Carbohydr. Res.* 56: 123-128.
- Bae JH. 1999. Effect of *Portulaca oleracea* extract on removing nicotine component of tobacco. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28: 670-612.
- Chan K, Islam MW, Kamil M, Radhakrishnan MNMZ, Habibullah M, Attas A. 2000. The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. subsp. *sativa* (Haw.) Celak. *J. Ethnopharmacol.* 73: 445-451.
- Chen J, Shi YP, Liu JY. 2003. Determination of noradrenaline and dopamine in Chinese herbal extracts from *Portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. A* 1003: 127-132.
- Choi EM, Kim AJ, Hwang JK. 2005. Enhanced immune cell functions and cytokine production after *in vitro* stimulation with arabinoxylans fraction from rice bran. *Food Sci. Biotechnol.* 14: 479-486.
- Choi AJ, Kim CJ, Cho YJ, Cha JY, Hwang JK, Kim IH, Kim CT. 2007. Characterization of polysaccharides obtained from purslane (*Portulaca oleracea* L.) using different solvents and enzymes. *Food Sci. Biotechnol.* 16: 928-934.
- D'Adamo P. 1996. Larch arabinogalactan. *J. Naturopath Med.* 6: 33-37.
- Sridhar R, Lakshminarayana G. 1993. Lipid classes, fatty acids, and tocopherols of leaves of six edible plant species. *J. Agric. Food Chem.* 41: 61-63.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers, PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28: 350-356.
- Eriksson I, Andersson R, Aman P. 1997. Extraction of pectic substances from dehulled rapeseed. *Carbohydr. Res.* 301: 177-185.
- Garti N, Aserin A, Slavin Y. 1999a. *Portulaca oleracea* gum and casein interactions and emulsion stability. *Food Hydrocolloid.* 13: 127-138.
- Garti N, Slavin Y, Aserin A. 1999b. Competitive adsorption in O/W emulsions stabilized by the new *Portulaca oleracea* hydrocolloid and nonionic emulsifiers. *Food Hydrocolloid.* 13: 139-144.
- Habtemarian S, Harvey AL, Waterman PG. 1993. The muscle relaxant properties of *Portulaca oleracea* are associated with high concentrations of potassium ions. *J. Ethnopharmacol.* 40: 195-200.
- Jee HK, Cho YJ, Kim CT, Jang YS, Kim CJ. 2006. Increase of solubility ginseng radix by extrusion cooking. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 361-368.
- Kelly GS. 1999. Larch arabinogalactan: Clinical relevance of a novel immune-enhancing polysaccharide. *Alter. Med. Rev.* 4: 96-103.
- Lim JP, Suh ES. 2000. Hepatoprotective, diuretic and anti-inflammatory activities of the extract from *Portulaca oleracea* Linné. *Korean J. Med. Crop Sci.* 8: 189-193.
- Liu L, Howe P, Zhou YF, Xu ZQ, Hocart C, Zhang R. 2000. Fatty acids and β -carotene in Australian purslane (*Portulaca oleracea*) varieties. *J. Chromatogr. A.* 893: 207-213.
- Lee TB. 1999. Illustrated flora of Korea. Hyangmunsa, Seoul, Korea, p. 324.
- Lee MS, Kim CT, Kim CJ, Cho YJ, Kim YH. 2006. Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipolysis and hormone sensitive lipase (HSL) gene expression in 3T3-L1 adipocytes. *Korean J. Nutr.* 39: 742-747.
- Malek F, Boskabady MH, Borushaki MT, Tohidi M. 2004. Bronchodilatory effect of *Portulaca oleracea* in airways of asthmatic patients. *J. Ethnopharmacol.* 93: 57-62.
- Mohamed A, Hussein A. 1994. Chemical composition of purslane (*Portulaca oleracea*). *Plant Food Hum. Nutr.* 45: 1-9.
- Na K, Yun JM, Choi MJ, Hwang JK. 2004. Extraction of pectic polysaccharides from extruded ginseng fiber. *Food Sci. Biotechnol.* 13: 486-489.
- Omara-Alwala T, Mebrahtu T, Prior DE, Ezekwe M. 1991. Omega-three fatty acids in purslane (*Portulaca oleracea*) tissues. *JAOCs* 68: 198-199.
- Parry O, Marks JA, Okwuasaba FK. 1993. The skeletal muscle relaxant action of *Portulaca oleracea*: role of potassium ions. *J. Ethnopharmacol.* 40: 187-194.
- Pérez S, Mazeau K, Penhoat CH. 2000. The three-dimensional structures of the pectic polysaccharides. *Plant Physiol. Biochem.* 38: 37-55.
- Sakai N, Inada K, Okamoto M, Shizuri Y, Fukuyama Y. 1996. Portuloside A, a monoperene glucoside, from *Portulaca oleracea*. *Phytochemistry* 42: 1625-1628.
- Seo Y, Shin J, Cha HJ, Kim YA, Ahn JW, Lee BJ, Lee DS. 2003. A new monoterpene glucoside from *Portulaca oleracea*. *Bull. Korean Chem. Soc.* 24: 1475-1477.
- Sridhar R, Lakshminarayana G. 1993. Lipid classes, fatty acids, and tocopherols of leaves of six edible plant species. *J. Agric. Food Chem.* 41: 61-63.
- Theander O, Aman P, Westerlund E, Anderson R, Pettersson D. 1995. Total dietary fiber as neutral sugar residues, uronic acid residue, and Klason lignin (The Uppsala method): Collaborative study. *J. AOAC Int.* 78: 1030-1044.
- Van den Berg R, Haenen GRMM, Van den Berg H. 1999. Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chem.* 66: 511-517.
- Yu KW, Hwang JH. 2001. Characterization of bone marrow cell proliferating arabinogalactan through peyer's patch cells from rhizomes of *atractylodes lancea* DC. *J. Food Sci. Nutr.* 6: 180-186.