

전곡립의 압출성형 및 효소처리에 의한 수용화

신해헌¹ · 이선희¹ · 박보선¹ · 임태수¹ · 황재관^{1,2,*}

천안외국어대학 식품유통과, ¹연세대학교 생물소재공학과, ²연세대학교 생명공학과

Solubilization of Whole Grains by Extrusion and Enzyme Treatment

Hae-Hun Shin, Sun-Hee Lee¹, Bo-Sun Park¹, Tae-Soo Rhim¹ and Jae-Kwan Hwang^{1,2,*}

Department of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies

¹Department of Biomaterials Sci. Eng., Yonsei University

²Department of Biotechnology, Yonsei University

The extrusion effects on solubilization of brown rice, glutinous rice, barley and job's tear were investigated in comparison with raw and roasted whole grains. Whole grains were extruded under 13 different operating conditions, where the process variables were controlled in the following ranges: screw speed, 200~300 rpm; temperature, 110~130°C; moisture, 15~25%. Solubilization effects of whole grains by extrusion were characterized in terms of water solubility index (WSI), viscosity, dispersibility and dietary fiber in comparison with those of raw and roasted grains. WSI of whole grains significantly increased by extrusion, especially WSI of glutinous rice containing abundant amylopectin increased twice than WSI of brown rice. The content of soluble dietary fiber was increased due to extrusion treatment, while insoluble dietary fiber decreased concomitantly and the content of total dietary fiber was not nearly changed. Extrusion improved the dispersibility and swelling effects in comparison with that of raw and roasting grains.

Key words: whole grains, solubilization, extrusion, enzyme

서 론

전곡립(whole grains)은 정제하지 않은 곡류로서 정제된 상태보다 인체에 유용한 각종 영양 및 생리활성 성분이 많이 포함되어 있어, 최근의 소비자들의 건강 지향적인 요구에 부응하여 산업적으로 전곡립 상태에서 곡물을 가공 판매하는 제품의 시장규모가 크게 증가하고 있다⁽¹⁾. 곡류의 세포벽은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴, 리그닌 및 당단백질 등의 고분자 물질로 되어 있다. 이들 구성성분들은 서로 유리된 상태로서 존재하는 것이 아니라 대부분 공유결합, 이온결합 및 수소결합 및 수소결합 등을 통하여 강하게 결합되어 수용화 효율과 소화를 방해한다. 이외에도 무기질, 비타민, 그리고 생리활성물질인 ferulic acid와 phenolic acid 등도 함유되어 있으나 이들 역시 세포벽 구성성분들과 강하게 결합된 상태로 존재하므로 생체 이용성이 매우 낮아 실질적인 생리활성 효과를 기대하기가 어렵다^(1,2).

이러한 전곡립을 분말화하여 혼합된 상태로 판매되고 있는 것이 일명 "선식"으로서 우리나라 전통의 곡류를 중심으로 제품화한 것으로 주로 현미, 현미찰, 보리 및 현미울무 등으로 최근에는 아침 대용식뿐만 아니라 이유식, 당뇨식 등 특수 용도용 제품으로의 개발이 활발히 진행되고 있다.

그러나, 전곡립을 주원료로 하는 선식의 경우 생리활성 물질이 다량 함유되어 있더라도 세포벽의 결합구조가 매우 치밀하고 견고하여 적절한 가공처리를 동반하지 않을 경우 실제적인 이용율은 매우 낮다. 현재 전곡립의 가공단계에서 주로 사용하고 있는 증자 및 roasting 방법은 전곡립의 미세구조를 효율적으로 조절하기에는 효율성이 낮아 전곡립의 단단한 조직을 효율적으로 이완시킬 수 있는 기술의 개발이 필수적이나 이에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 세포벽의 수용화 공정은 화학적인 방법으로서 산이나 알칼리를 사용하기도 하는데, 화학적 처리방법은 식품생산공정에서 제한점이 많아 거의 사용되지 않는다. 또한 세포벽 성분을 가수분해하는 cellulase, hemicellulase, pectinase 등의 효소를 사용하는 효소처리방법⁽³⁾이 있으며, 이외에도 autoclaving, popping, blanching, 압출성형(extrusion) 등 주로 가열처리에 의하여 식물조직의 결합력을 약화시켜 수용화가 되는 방법이 있다⁽⁴⁻⁶⁾. 여러 가지 식물 세포벽의 수용화 및 구조변환 기술과 관련

*Corresponding author : Jae-Kwan Hwang, Department of Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
Tel: 82-2-2123-5881
Fax: 82-2-312-6821
E-mail: jkhwang@yonsei.ac.kr

하여 본 연구에서 효율적으로 적용될 수 있는 기술은 압출 성형과 효소처리에 의한 수용화기술이다.

이중 압출성형은 단시간 고온처리에 의한 가열효과 뿐만 아니라, 고압 및 강한 전단력에 의하여 혼합, 절단, 파쇄, 가압, 성형, 팽화, 건조, 살균 등의 각종 단위공정을 동시에 수행할 수 있어 각종 식품제조에 활발히 사용되고 있다^(7,8). 압출성형 처리에 의해서 밀기울(wheat bran)은 수용성 식이섬유의 함량이 약 100% 증가하였고, 다른 열처리 공정에 비하여 수용화 효율이 크게 증가하였다. 또한 압출성형 시료는 다른 열처리 공정에 비하여 보수력, 팽윤도 등의 물성이 높게 나타났다⁽⁹⁾. 압출성형에 의해 일어나는 이러한 구조변화는 물성의 개선뿐만 아니라 관능특성의 개선에도 크게 기여할 수 있기 때문에 곡류를 기본하는 제품의 품질향상에 기여한다. 따라서 현재 선식의 제조에 사용되는 증자 후 roasting 방법에 비교하여 공정효율이 월등할 뿐만 아니라 압출성형의 고온, 고압, 고전단력(shearing force)에 의해 전분의 호화도 상승에 따른 소화 흡수를 증가, 세포벽 이완에 따른 곡류 내 생리활성 물질의 이용도 증진과 같은 많은 장점을 제공할 것으로 판단된다.

한편 효소적 처리방법은 압출성형 등에 이완된 조직구조를 완전히 수용화함으로써 수용성 식이섬유 함량을 증가시키기 때문에 혈중 콜레스테롤 함량 감소 등의 각종 생리활성 효과를 제공하게 된다⁽³⁾. 또한 기존에 세포벽 내부의 조직에 묻혀 있던 다양한 식품 및 생리활성 물질을 유리시킴으로써 곡류의 기능성을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

그러므로 본 연구에서는 압출성형에 의한 고온, 고전단력과 고압으로 전분호화와 팽화를 시키고 조직을 느슨하게 하여 수용화 효율과 소화도를 증가시키고 수용성 식이섬유의 함량을 높이고자 하였다. 또한 압출성형 후 효소처리를 하여 수용화 효과를 극대화시킬 뿐만 아니라 세포벽에 불용성으로 존재하는 생리활성성분을 유리시키는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

전곡립

현재 선식제품에 주로 사용되면서 영양성분이 풍부하고, 압출성형에 의한 구조변화 효과가 뚜렷한 것으로 판단되는 현미, 현미찰쌀, 보리, 울무 4종을 대상으로 선정하였다.

볶음처리(Roasting)

전곡립을 생시료, 압출성형 처리군과 비교하기 위하여, 전곡립 100g을 회전원통볶음기(hesse, Andre & Co., Model Re-1, Hamburg, Germany)에 넣은 후 150°C에서 2시간 동안 가열하였다

압출성형공정

본 연구에서 사용된 압출기는 동방향완전맛물림형 이축압출기(Biex-BNDL 44, Bbler Brothers Co., Swiss)로서 L/D비(길이 대 직경비)를 20:1로 개량하였다. 전곡립은 용적식 투입장치(K-tron L-10)로 계량하면서 투입하였고, 가수량은 파워밸브(power valve)와 유량계를 이용하여 조절하였다. 압출

Table 1. Extrusion conditions of cereals

Sample	Temperature (°C)	Moisture content (%)	Screw speed (rpm)
EX-1	130	25	250
EX-2	130	20	300
EX-3	130	20	200
EX-4	130	15	250
EX-5	120	25	250
EX-6	120	25	200
EX-7	120	20	250
EX-8	120	15	300
EX-9	120	15	200
EX-10	110	25	250
EX-11	110	20	300
EX-12	110	20	200
EX-13	110	15	250

처리는 곡류의 구조를 효율적으로 변형하기 위해 3가지의 공정변수 즉, 반응온도, 원료반죽의 수분함량, 스크류의 회전속도를 설정하였다. 압출성형 실험조건은 Table 1에 나타내었다.

압출성형된 곡류의 효소처리

압출공정 처리한 시료 1kg에 10 L의 증류수를 넣고 Filtrase BR(Gist-Brocades, Netherland) 효소액(효소/시료 = 1:100)을 첨가한 다음 50°C에서 6시간동안 교반하여 반응시켰다. 그 다음 반응액을 동결건조기를 이용하여 12시간 건조하였다.

수분용해지수(Water solubility index: WSI)

시료 10g에 물 100 mL를 가하여 상온에서 1시간 동안 교반 한 후 2000×g에서 10분간 원심분리하였다. 상등액 10 mL를 수분 칭량병에 넣은 후 105°C에서 4시간 동안 건조하여 고형분 함량을 측정 후 WSI를 다음식으로 결정하였다.

$$WSI (\%) = \frac{\text{soluble solids (g/10 mL)} \times 100 \text{ mL}}{100\%} \times 100\%$$

고유점도(Intrinsic viscosity)

시료를 일정량의 증류수에 넣고 상온에서 1시간동안 교반하였다. 이를 0.45 μm Millipore filter에서 여과한 후 10 mL의 용액을 Cannon-Fenske 모세관 점도계(size 50)에 넣고 25 ± 0.1°C에서 점도를 측정하였다. 고유점도([η])는 다음 식을 이용하여 결정하였다.

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta - \eta_s}{\eta_s C}$$

여기서 η는 용액의 점도, η_s는 용매의 점도, C는 용액의 농도이다.

식이섬유 함량

식이섬유 함량은 Prosky 방법에 의한 dietary fiber assay kit(Sigma Chemical Co.)를 사용하여 결정하였다. 식이섬유는 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber: SDF)와 불용성 식이섬유

유(insoluble dietary fiber: IDF)로 나누어 측정하였으며, 각각 2회 측정하여 그 평균값으로 나타내었다. 총식이섬유(total dietary fiber: TDF)는 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유의 합으로서 계산하였다.

팽화

압출성형한 전곡립의 직경을 측정하였다.

분산성

분산성은 1 g 시료와 15 mL 증류수를 test tube에 넣고 분산 및 풀리는 정도를 측정하였다. 압출성형시료와 생시료, 증자-볶음 및 볶음시료와의 차이를 실제 사진으로 비교하였다.

결과 및 고찰

수분용해지수, 수율 및 고유점도

압출성형: 본 연구에서 선정된 현미, 현미찰쌀, 보리, 울무 4종의 곡류에 대하여 압출성형에 의한 수용성 성분의 수분용해지수(WSI), 수율, 고유점도 및 수율×고유점도의 값을 각각 Table 2~5에 나타내었다. 전체적으로 원료 및 볶은 시료에 비해 압출성형에 의해 수분용해지수가 크게 증가하였다. 이는 압출성형 과정에서 동반되는 가열작용에 의해 전분의 호화가 촉진되며, 또한 전단력에 의해 비전분계 복합 다당류(non-starch complex polysaccharides)가 세포벽으로부터 수용화 용출되기 때문이다^(4,10,11).

현미(Table 2)와 현미찰쌀(Table 3)을 비교해 보면 현미찰쌀에서 WSI가 약 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 이는 찹쌀에 상대적으로 많은 아밀로펙틴 함량에 의한 것으로 판단된다. 아밀로펙틴은 대표적인 branch-on-branch 구조를 갖는 측쇄형 다당류(branched polysaccharides)로서 전분의 초기 호화단계인 팽화과정에서 물이 아밀로펙틴의 가지부분을 통해 침투함으로써 호화가 시작된다. 따라서 아밀로펙틴의 함량이 높을 경우 보다 물의 침투가 용이해져 효율적으로 팽화가 일어나며, 팽화율이 높을수록 압출성형에 따른 전단력에 의해

보다 용이하게 수용화가 일어나게 된다.

반면에 현미와 현미찰쌀의 고유점도는 거의 유사한 것을 알 수 있다. 고유점도는 수용화 수율과는 관계없이 수용성 분획의 분자량을 나타내는 척도로서, 현미와 현미찰쌀 수용성 분획의 분자량에는 큰 차이가 없다는 것을 의미한다⁽¹²⁾.

한편, 수율과 분자량을 고려한 수율×고유점도(C[η])를 보면 현미찰쌀이 현미보다 훨씬 높은 값을 보였다. 이는 전체적으로 수율이 수율×고유점도(C[η]) 인자를 결정한다는 것을 의미한다⁽¹³⁾. 일반적으로 식물세포벽을 수용화할 때는 수율의 증가에 따라 분자량이 감소하면서 상호간에 어느 정도 상쇄되는 현상을 보이는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구처럼 전분질이 상당량 존재하는 경우에는 섬유질 성분과는 달리 압출성형에 의한 저분자화 현상이 뚜렷하게 발견되지 않았다. 이는 지금까지 비전분계 다당류로 구성되어 있는 섬유소 물질에 대한 압출성형 결과와는 다른 결과로서 전분성 물질이 대부분인 전곡립의 경우에는 수율×고유점도의 인자에

Table 3. Solubilization of glutinous rice by extrusion

Samples ¹⁾	WSI (%)	C (g/dL)	[η] (dL/g)	C[η]
RAW	4.60	0.0920	0.1553	0.0143
RO	2.43	0.0485	0.2946	0.0143
EX-1	67.93	1.3585	0.8202	1.1143
EX-2	68.33	1.3665	0.8259	1.1286
EX-3	69.10	1.3820	0.8786	1.2143
EX-4	68.48	1.3695	0.5842	0.8000
EX-5	66.13	1.3225	0.9182	1.2143
EX-6	66.65	1.333	0.8895	1.1857
EX-7	69.93	1.3985	0.8274	1.1571
EX-8	71.35	1.4270	0.5306	0.7571
EX-9	69.98	1.3995	0.6125	0.8571
EX-10	69.13	1.3825	0.7647	1.0571
EX-11	65.45	1.3090	0.8512	1.1143
EX-12	64.05	1.2810	0.9479	1.2143
EX-13	69.98	1.3995	0.5308	0.7429

¹⁾RAW: Raw cereals, RO: Roasted, EX: Extruded.

Table 2. Solubilization of brown rice by extrusion

Samples ¹⁾	WSI (%)	C (g/dL)	[η] (dL/g)	C[η]
RAW	1.925	0.0385	0.1855	0.0071
RO	1.60	0.0320	0.2232	0.0071
EX-1	31.15	0.6230	0.7108	0.4429
EX-2	34.15	0.6830	0.7321	0.5000
EX-3	31.63	0.6325	0.6776	0.4286
EX-4	38.95	0.7790	0.6418	0.5000
EX-5	34.1	0.6820	0.6075	0.4143
EX-6	30.43	0.6085	0.8217	0.5000
EX-7	35.78	0.7155	0.6988	0.5000
EX-8	42.48	0.8495	0.4877	0.4143
EX-9	39.30	0.7860	0.4907	0.3857
EX-10	38.23	0.7645	0.7288	0.5571
EX-11	39.30	0.7860	0.6361	0.5000
EX-12	38.98	0.7795	0.6414	0.5000
EX-13	40.60	0.8120	0.5630	0.4571

¹⁾RAW: Raw cereals. RO: Roasted. EX: Extruded.

Table 4. Solubilization of barley by extrusion

Samples ¹⁾	WSI (%)	C (g/dL)	[η] (dL/g)	C[η]
RAW	4.12	0.08235	0.5204	0.0429
RO	3.28	0.0655	0.6543	0.0429
EX-1	17.78	0.3555	1.0046	0.3571
EX-2	22.45	0.4490	1.1136	0.5000
EX-3	20.65	0.4130	1.2452	0.5143
EX-4	34.25	0.6850	1.2930	0.8857
EX-5	23.68	0.4735	1.2068	0.5714
EX-6	16.98	0.3395	1.0940	0.3714
EX-7	25.53	0.5105	1.1753	0.6000
EX-8	29.00	0.580	1.1823	0.6857
EX-9	36.53	0.7305	1.3689	1.0000
EX-10	24.10	0.4820	1.1263	0.5429
EX-11	31.60	0.6320	1.0398	0.6571
EX-12	27.60	0.5520	1.0870	0.6000
EX-13	33.63	0.6725	1.1046	0.7429

¹⁾RAW: Raw cereals, RO: Roasted, EX: Extruded.

Table 5. Solubilization of Job's tear by extrusion

Samples ¹⁾	WSI (%)	C (g/dL)	[η] (dL/g)	C[η]
RAW	3.08	0.0615	0.2323	0.0143
RO	1.63	0.0325	0.4396	0.0143
EX-1	28.05	1.1235	0.8519	0.9571
EX-2	29.80	1.1780	0.6791	0.8000
EX-3	28.55	1.1065	0.8005	0.8857
EX-4	30.8	1.2035	0.4629	0.5571
EX-5	27.64	1.1180	0.8561	0.9571
EX-6	30.11	1.1135	0.8083	0.9000
EX-7	29.06	1.1020	0.8426	0.9286
EX-8	33.17	1.2580	0.4429	0.5571
EX-9	32.21	1.1955	0.5736	0.6857
EX-10	29.91	1.1490	0.8206	0.9429
EX-11	25.73	1.1545	0.9157	1.0571
EX-12	28.78	1.0915	1.0078	1.1000
EX-13	29.62	1.1855	0.5543	0.6571

¹⁾RAW: Raw cereals, RO: Roasted, EX: Extruded.

대한 새로운 해석이 필요할 것으로 판단되었다.

울무와 보리의 경우에는 현미와 현미찰에 비해 압출성형 공정의 변화에 관계없이 상대적으로 큰 차이를 보이지 않았다(Table 4, 5). 특히, 보리의 경우에는 다른 곡류에 비하여 매우 낮은 용해화 수율을 나타내었다. 동일한 압출성형공정에서 이러한 수용성의 차이는 분자구조적인 관점에서 보면 미세구조에 의해서 결정된다. 현재는 이러한 원인의 해석에 필요한 구체적인 연구결과가 없으나 추후 구조측면에서 이러한 결과를 필요로 한다.

곡류에 대한 압출성형의 전체적인 효과를 살펴보면 roasting 과정에 비해 수용화 성분이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 수용화 정도는 궁극적으로는 압출성형 제품의 소화율이나 물성의 개선에 매우 중요한 인자로서 작용하기 때문에 공정 및 품질개선 측면에서 압출성형은 긍정적인 측면을 내포하고 있다⁹⁾.

압출성형 후 효소처리: 현미, 울무와 보리의 압출성형 및 효소처리에 의한 수분용해지수를 보면, 전체적으로 압출성형 후 효소처리를 한 경우가 큰 값을 보이고 있다(Table 6). 이는 압출성형 과정 중 고온, 고압과 고전단력이 식물세포벽 구조를 느슨하게 하여 물의 침투가 용이하게 하고 여기에 식물세포벽 분해효소인 Filtrase BR을 처리함으로써 단단하게 결합되어 있는 식물세포벽 구조를 분리시켜 수용화 효과를 극대화시키기 때문이다^{3,10)}. 또한, 사용된 효소는 β -glucanase 뿐만 아니라 cellulase, arabinase, xylanase 등을 함유하고 있는 정제되지 않은 상업적인 효소액이므로 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴, 리그닌 및 당단백질 등의 고분자 물질로 구성된 식물세포벽을 보다 효율적으로 분해시키는 것으로 보인다.

그러나, 원료 및 볶은시료가 압출성형에 의해서 WSI가 크게 증가한 것에 비하면, 효소처리에 의한 수분용해지수 증가 폭이 상대적으로 작게 나타났다. 이는 곡류의 성분 중에 식물세포벽 물질보다는 전분질이 많이 함유되어 있기 때문으로 볼 수 있다.

현미의 경우 울무와 보리에서보다 효소처리에 의한 수분용해지수 증가가 크게 나타나지 않았다. 반면에 울무는 수분용해지수가 상대적으로 크게 증가하였다. 이는 각 곡류의 불용성 식이섬유 함량(IDF)을 비교해보면 현미의 경우 보리와 울무에 비해 식물세포벽의 성분인 불용성 부분이 적은 부분을 차지하고 있어(Table 3~5) 식물세포벽 함량에 따른 것으로 판단된다.

식이섬유 함량 변화

압출성형: 현미, 현미찰, 보리 및 울무의 압출성형에 의한 수용성 식이섬유(SDF), 불용성 식이섬유(IDF), 총식이섬유(TDF)의 함량을 Table 7~10에 나타내었다. 모든 곡류에서 압출성형에 의해 수용성 식이섬유의 함량이 증가하였다. 수용성 식이섬유는 인체내 소화효소에 의해 분해되지 않는 다당류 성분으로서 일종의 복합 탄수화물로서, 곡류에서 원료상태의 식이섬유는 서로 강하게 결합되어 불용성 식이섬유

Table 6. Water solubility index of cereals

Samples ¹⁾	Barley (%)		Brown rice (%)		Job's tear (%)	
	Extrusion	Extrusion+Enzyme ²⁾	Extrusion	Extrusion+Enzyme	Extrusion	Extrusion+Enzyme
EX-1	17.78	32.20	31.15	41.25	28.05	42.60
EX-2	22.45	35.65	34.15	42.72	29.80	41.85
EX-3	20.65	33.82	31.63	41.82	28.55	41.26
EX-4	34.25	35.76	38.95	43.18	30.8	42.22
EX-5	23.68	34.24	34.1	42.86	27.64	42.27
EX-6	16.98	36.14	30.43	41.95	30.11	42.21
EX-7	25.53	33.51	35.78	41.22	29.06	38.67
EX-8	29.00	33.34	42.48	44.22	33.17	42.23
EX-9	36.53	34.61	39.30	42.54	32.21	42.29
EX-10	24.10	30.29	38.23	41.61	29.91	49.57
EX-11	31.60	31.98	39.30	42.26	25.73	43.29
EX-12	27.60	32.62	38.98	43.63	28.78	41.31
EX-13	33.63	33.00	40.60	44.19	29.62	40.71

¹⁾EX: Extruded.

²⁾Filtrase BR.

Table 7. Dietary fiber content of brown rice

Sample ¹⁾	IDF (%)	SDF (%)	TDF (%)
RAW	9.31	1.90	10.21
RO	8.38	2.04	10.42
EX-1	7.66	2.52	10.18
EX-2	6.91	3.03	9.94
EX-3	8.35	2.26	10.61
EX-4	7.79	2.26	10.05
EX-5	6.97	2.66	9.63
EX-6	7.70	2.31	9.91
EX-7	7.83	2.18	10.01
EX-8	7.94	2.24	10.18
EX-9	7.99	2.26	10.35
EX-10	7.56	2.81	10.37
EX-11	7.27	2.05	10.32
EX-12	8.21	2.30	10.51
EX-13	8.18	2.31	10.49

¹⁾RAW: Raw, RO: Roasted, EX: Extruded.

Table 9. Dietary fiber content of barley

Sample ¹⁾	IDF (%)	SDF (%)	TDF (%)
RAW	10.53	6.55	17.08
RO	9.19	7.76	16.95
EX-1	7.88	8.19	16.07
EX-2	7.19	8.93	16.12
EX-3	7.97	8.68	16.55
EX-4	7.13	9.52	16.65
EX-5	6.58	9.65	16.23
EX-6	6.51	10.08	16.59
EX-7	8.20	8.81	17.01
EX-8	6.95	9.83	16.78
EX-9	6.74	9.27	16.01
EX-10	7.86	9.19	17.05
EX-11	7.23	9.15	16.38
EX-12	7.64	8.38	16.02
EX-13	7.53	8.60	16.33

¹⁾RAW: Raw, RO: Roasted, EX: Extruded.

Table 8. Dietary fiber content of glutinous rice

Sample ¹⁾	IDF (%)	SDF (%)	TDF (%)
RAW	8.18	2.03	10.21
RO	8.02	2.15	10.17
EX-1	7.33	3.42	10.75
EX-2	7.53	2.70	10.23
EX-3	7.61	3.02	10.63
EX-4	7.53	2.82	10.35
EX-5	7.91	3.01	10.92
EX-6	6.89	4.07	10.96
EX-7	6.97	3.20	10.17
EX-8	7.02	3.31	10.33
EX-9	7.48	3.32	10.70
EX-10	6.93	3.11	10.04
EX-11	7.27	2.80	10.07
EX-12	7.64	2.51	10.15
EX-13	7.80	2.32	10.12

¹⁾RAW: Raw, RO: Roasted, EX: Extruded.

Table 10. Dietary fiber content of Job's tear

Sample ¹⁾	IDF (%)	SDF (%)	TDF (%)
RAW	13.51	2.06	15.57
RO	13.45	2.23	15.68
EX-1	11.22	3.69	14.91
EX-2	10.98	4.22	15.20
EX-3	11.78	2.60	14.38
EX-4	12.65	3.10	15.75
EX-5	11.31	4.31	15.62
EX-6	11.38	3.98	14.36
EX-7	10.71	4.13	14.84
EX-8	12.23	3.03	15.26
EX-9	11.05	3.99	15.04
EX-10	11.10	4.32	15.42
EX-11	11.67	3.80	15.47
EX-12	12.42	3.10	15.52
EX-13	12.19	2.93	15.12

¹⁾RAW: Raw, RO: Roasted, EX: Extruded.

상태로 존재하는데 압출성형 과정에서 제공되는 강한 전단력(shear force)은 식이섬유 성분간의 강한 결합력을 깨뜨려 수용화 시키는 것으로 알려져 있다^{7,8)}. 따라서 Table 7~10에서 관찰되는 수용성 식이섬유 함량의 증가는 전단력에 의한 세포벽 구조의 수용화에 기인한다.

비록 Table에서 관찰된 바와 같이 수용화 식이섬유 함량의 절대치는 크지 않으나 수용화 과정에서 견고한 곡류 세포벽의 구조변화가 상당히 많이 일어나는 것으로 보고된 바 있다¹⁴⁾. 특히 Table 9에서 보리의 수용성 식이섬유 함량이 매우 높게 나타났는데 이는 주로 보리에 많이 분포하는 수용성 β -glucan 성분에 기인하는 것으로 알려져 있다. 앞으로 보리를 대상으로 수용성 식이섬유 성분을 전분으로부터 분리하여 압출성형에 따른 복합 탄수화물의 수용화 현상을 세부적으로 연구할 필요가 있는 것으로 판단된다.

압출성형 후 효소처리: 현미, 율무와 보리의 압출성형 및

효소처리에 의한 수용성 식이섬유, 불용성 식이섬유, 총식이섬유의 함량을 Table 11~13에 나타내었다. 현미와 율무에서는 효소처리를 병합한 경우에 수용성 식이섬유의 함량이 크게 증가하여, 총식이섬유 함량이 전체적으로 증가하였다. 반면에 보리는 전체적으로 모든 함량이 감소하였는데, 이는 실험에 사용한 효소가 맥주공정시에 보리의 세포벽물질로 인한 여과방해를 해소하기 위해 만든 효소로 보리에 대해 두드러지게 큰 활성을 나타내는 것으로 보이며, 이러한 이유로 보리의 수용성, 불용성 및 총식이섬유의 함량이 줄어든 것을 볼 수 있다.

곡류 압출성형물의 팽화현상

압출성형에 따른 곡류 압출물의 팽화정도를 나타내기 위하여 extrudates의 직경을 측정하여 그 결과를 Table 14에 나타내었다. 전체적인 경향을 보면 압출성형시의 조건에서 수분함

Table 11. Dietary fiber contents of brown rice

Samples ¹⁾	IDF (%)		SDF (%)		TDF (%)	
	Extrusion	Extrusion+Enzyme ²⁾	Extrusion	Extrusion+Enzyme	Extrusion	Extrusion+Enzyme
EX-3	8.35	8.84	2.26	5.00	10.61	13.83
EX-5	6.97	8.98	2.66	4.99	9.63	13.97
EX-9	7.99	8.86	2.26	5.12	10.35	13.97

¹⁾EX: Extruded.²⁾Filtrase BR.

Table 12. Dietary fiber contents of job's tear

Samples ¹⁾	IDF (%)		SDF (%)		TDF (%)	
	Extrusion	Extrusion+Enzyme ²⁾	Extrusion	Extrusion+Enzyme	Extrusion	Extrusion+Enzyme
EX-3	11.78	11.37	2.60	4.89	14.38	16.40
EX-5	11.31	11.76	4.31	5.67	15.62	17.43
EX-9	11.05	11.31	3.99	4.18	15.04	15.49

¹⁾EX: Extruded.²⁾Filtrase BR.

Table 13. Dietary fiber contents of barley

Samples ¹⁾	IDF (%)		SDF (%)		TDF (%)	
	Extrusion	Extrusion+Enzyme ²⁾	Extrusion	Extrusion+Enzyme	Extrusion	Extrusion+Enzyme
EX-3	7.97	4.74	8.68	4.56	16.55	9.36
EX-5	6.51	4.68	10.08	4.84	16.59	9.52
EX-9	6.74	4.28	9.27	4.53	16.01	8.78

¹⁾EX: Extruded.²⁾Filtrase BR.

Table 14. Diameters of extrudates after extrusion of cereals

Samples	Brown rice	Glutinous rice	Barley	Job's tear
EX-1	6.38 ± 0.56 ¹⁾	6.50 ± 1.04	7.74 ± 0.25	6.00 ± 0.60
EX-2	13.54 ± 1.07	5.84 ± 0.50	7.06 ± 0.65	8.76 ± 0.73
EX-3	14.96 ± 1.75	6.14 ± 0.42	8.14 ± 1.19	8.96 ± 1.12
EX-4	12.36 ± 1.23	12.30 ± 0.94	14.70 ± 0.92	13.90 ± 1.45
EX-5	7.96 ± 1.15	5.94 ± 0.29	7.92 ± 0.53	5.62 ± 0.24
EX-6	8.12 ± 1.71	6.18 ± 0.60	8.32 ± 1.26	7.16 ± 0.47
EX-7	10.10 ± 0.88	7.36 ± 0.71	9.42 ± 1.38	6.34 ± 0.43
EX-8	14.12 ± 0.54	15.00 ± 1.56	11.80 ± 1.31	12.68 ± 0.94
EX-9	14.68 ± 0.51	13.14 ± 1.13	12.42 ± 0.51	11.58 ± 0.30
EX-10	7.76 ± 0.63	9.28 ± 0.98	7.54 ± 0.77	5.70 ± 1.19
EX-11	10.46 ± 1.39	5.20 ± 0.41	12.90 ± 1.98	8.10 ± 2.14
EX-12	10.20 ± 1.18	6.94 ± 1.11	13.04 ± 0.94	4.90 ± 0.73
EX-13	15.80 ± 1.27	15.62 ± 0.79	13.50 ± 2.59	12.26 ± 0.96

¹⁾Mean ± SD.

량이 감소할수록 압출성형물의 직경이 증가하는 현상을 나타내었다. 이는 압출성형에서의 수분함량의 증가는 점도를 감소시키고 압출성형물의 물성학적 특성을 변화시키게 된다⁽¹⁵⁾. 따라서, 압출성형시 곡류전분의 팽화역할을 하는 수분함량이 부족하면 밀도가 증가하며, 수분함량이 많을 경우에는 팽화 후에도 조직속에 수분이 존재하여 형성된 기공이 수축하기 때문에 곡류의 조직이 단단해져 수용성 물질의 용출이 감소되는 것으로 여겨진다⁽¹⁶⁾.

분산성

현미, 현미찰, 보리 및 율무의 압출성형에 의한 분산성 및 풀림성을 Fig. 1에 나타내었다. 그림을 보면 알수 있듯이 압출성형된 시료의 경우 다른 시료들보다 더 잘 분산되고 부풀었다. 또한 압출성형된 시료는 모두 1~2분안에 물을 흡수하여 부풀어올라 인공적으로 호화시키지 않아도 쉽게 물에 용해되고 분산되는 것을 알 수 있다.

생시료, 증자-볶음 및 볶음시료보다 압출성형된 시료의 분

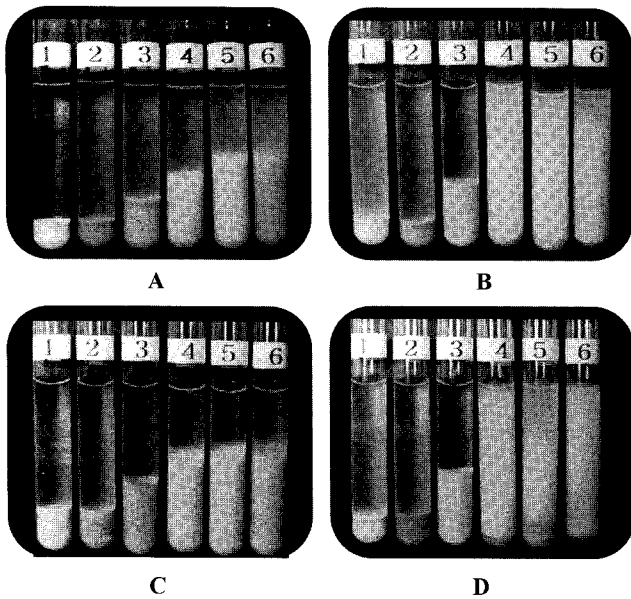


Fig. 1. The dispersibility of brown rice (A), glutinous rice (B), barley (C) and job's tear (D).

1: RAW, 2: Roasted, 3: Cook-Roasted, 4: EX-2, 5: EX-6, 6: EX-8.

산정도와 풀림성이 크므로서 효소작용을 받을 수 있는 표면적이 넓어져 소화율이 증가하고, 물을 잘 흡수하여 호화가 잘되며, 모든 성분이 수용화가 되어 수용성 식이섬유의 함량이 많은 것으로 생각된다. 현미잡쌀의 경우 분산 및 풀림의 정도가 가장 컸으며, 이어 현미쌀, 울무, 보리순으로 나타났다. 현미쌀의 경우 풀림성이 강하나 잘 가라앉고 영키며, 울무의 경우 분산성이 높으나 식이섬유의 함량이 많아 용해되지 않고 가라앉은 것들이 많이 있었다. 소화가 잘 안되는 보리의 경우 풀림의 정도가 극명하게 나타났으며, 압출성형이 얼마나 보리의 소화와 호화에 큰 영향을 주는지 잘 나타내고 있다.

요 약

전곡립(Whole grains)의 압출공정에 따른 수용화 현상과 이화학적 특성의 변화를 측정하였다. 본 연구에서 전곡립으로는 현재 산업적으로 분말곡류 제품에 가장 많이 사용되고 있는 현미, 현미잡쌀, 보리 및 울무의 4종을 사용하였다. 전곡립은 스크류 속도 200~300 rpm, 온도 110~130°C, 수분함량 15~25%의 범위에서 13개의 각각 다른 조건으로 압출공정을 시행하였다. 압출공정한 전곡립 시료의 특성은 수분용해지수(water solubility index), 점도, 식이섬유, 분산성, 팽화(expansion) 등을 측정하였으며, 이를 압출공정 처리하지 않은 생원료 및 볶은 시료(roasted grains)와 비교하였다. 수분용해지수는 압출공정에 의해 모든 곡류에서 뚜렷하게 증가하였으며, 특히 아밀로펙틴을 많이 함유하고 있는 현미잡쌀은 현미보다 2배 이상 증가하였다. 압출공정에 따른 곡류의 식이섬유 함량을 측정한 결과 수용성 식이섬유는 증가하였으며, 반면에 불용성 식이섬유는 감소하는 경향을 보였고, 총 식이섬유 함량은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 압출공정에 의해 분

산성의 향상, 팽화 현상 등이 뚜렷하게 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 농림부의 농림기술개발사업에 의하여 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Dey, P.M. and Brinson, K. Plant cell walls. *Adv. Carbohydr. Chem. Biochem.* 42: 265-382 (1984)
- Brett, C. and Waldron, K. Cell wall structure and the skeletal functions of the walls, pp. 4-57. In: *Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls*, Hyman, U. (ed.). London, UK (1990)
- Renard, C.M.G.C., Voragen, A.G.J., Thibault, J.F. and Pilnik, W. Comparison between enzymatically and chemically extracted pectins from apple cell walls. *Anim. Feed Sci. Technol.* 32: 69-75 (1991)
- Siljeström, M., Westerlund, E., Björck, I., Holm, J., Asp, N.G. and Theander, O. The effects of various thermal processes on dietary fibre and starch content of whole grain wheat and white flour. *J. Cereal Sci.* 4: 315 (1986)
- Nyman, M., Schweizer, T.F., Palsson, K.E. and Asp, N.G. Effects of processing on fermentation of dietary fibre in vegetables by rats. *Lebensm. Wiss. Technol.* 24: 433 (1991)
- Guillon, F., Barry, J.L. and Thibault, J.F. Effect of autoclaving sugar-beet fibre on its physico-chemical properties and its in-vitro degradation by human faecal bacteria. *J. Sci. Food Agric.* 60: 69-79 (1992)
- Linko, P., Colonna, P. and Mercier, C. High-temperature, short-time extrusion cooking, Vol. 4. pp. 145. In: *Advances in Cereal Science and Technology*. Pomeranz, Y. (ed.). AACC, St. Paul, MN, USA (1981)
- Wiedman, W. and Strobel, E. Processing and economic advantage of extrusion cooking in comparison with conventional processing in the food industry, pp. 132-169. In: *Extrusion Technology for the Food Industry*. O'Connor, C. (ed.). Elsevier Applied Science, New York, USA (1987)
- Hwang, J.K., Kim, J.T., Cho, S.J., Kim, C.J. Effects of various thermal treatments on physicochemical properties of wheat bran. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 394-403 (1995)
- Ralet, M.C., Della Valle, G. and Rhibault, J.F. Raw and extruded fibre from pre hulls. Part I: Composition and physico-chemical properties. *Carbohydr. Polym.* 20: 17-25 (1993)
- Anisworth, P. and Hayes, G.D. Influence of process variables on residence time distribution and flow patterns of tarhana in a twin-screw extruder. *J. Food Eng.* 32: 101-108 (1997)
- Launary, B., Doublier, J.L. and Cuvelier, G. Flow properties of aqueous solutions and dispersions of polysaccharides, pp. 1-75. In: *Functional Properties of Food Macromolecules*. Mitchell, J.R. and Ledward, D.A. (eds.). Elsevier Applied Science Publishers, New York, USA (1986)
- Hwang, J.K., Choi, J.S., Kim, C.J. and Kim, C.T. Solubilization of apple pomace by extrusion. *J. Food Proc. Preserv.* 22: 477-491 (1998)
- Hwang, J.K., Kim, C.T., Hong, S.I. and Kim, C.J. Solubilization of plant cell walls by extrusion. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 23: 358-370 (1994)
- Kim, J.T., Hwang, J.K., Kim, C.J. and Kim, H.S. Analysis of residence time distribution during twin-screw extrusion of wheat bran. *Food Sci. Biotechnol.* 9: 10-13 (2000)
- Kim, J.J. and Ryu, G.H. Effects of extrusion process parameters on puffing of extruded pellets. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 55-59 (2001)

(2002년 11월 20일 접수; 2003년 8월 7일 채택)