KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 33, No. 6, pp. 686~692 (2001)

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

반응표면분석법에 의한 전곡립의 압출성형공정 분석

신해헌 · 박보선[1] · 이혜림[1] · 최문정[1] · 황재관[1]*
천안외국어대학 식품유통과, [1]연세대학교 생물산업소재연구센터

Analysis of Whole Grains Extrusion by Response Surface Methodology

Hae-Hun Shin, Bo-Sun Park[1], Hye-Lim Lee[1], MoonJung Choi[1] and Jae-Kwan Hwang[1]*
Department of Food Marketing, Cheonan College of Foreign Studies
[1]Bioproducts Research Center, Yonsei University

The effects of extrusion on solubilization of brown rice, glutinuous rice, barley and job's tear were analyzed by response surface methodology (RSM). Solubilization of whole grains by extrusion was characterized in terms of water solubility index (WSI), concentration of water soluble polysaccharides (C) and intrinsic viscosity ([η]). Considering both concentration and intrinsic viscosity, a dimensionless target parameter C[η] was also included for analysing the extrusion effects on cereal extrusion. Response surface methodology analysis showed that the moisture content was the most significant contributor among screw speed, temperature and moisture content affecting the solubilizing phenomena of cereals processed with extrusion. Brown rice was not showed the significant relationship on C[η] because C[η] was more affected by intrinsic viscosity. The critical point of whole grains extrusion except brown rice was corresponded to screw speed of 300 rpm, moisture content of 20% and temperature of 120°C.

Key words: whole grains, extrusion, RSM, optimization

서 론

전곡립(whole grains)은 정제하지 않은 곡류로서 정제된 상태보다 인체에 유용한 각종 영양 및 생리활성 성분이 많이 포함되어 있으며, 최근 소비자들의 건강 지향적인 요구에 부응하여 산업적으로 전곡립 상태에서 곡물을 가공 판매하는 제품의 시장규모가 크게 증가하고 있다[1]. 전곡립은 일반 영양성분 이외에 식이섬유등의 복합 탄수화물 그리고 lignin, phytoestrogen을 포함하는 phytochemicals로 구성되어 있다[2]. 이 중 생리활성 측면에서 중요한 성분은 식이섬유성 복합탄수화물과 phytochemicals로, 이들은 관능성, 저장성 등 일부 식품학적인 측면에서도 영향을 미치지만, 보다 중요한 것은 전곡립의 섭취에 의한 생리활성 성분의 지속적인 공급에 의하여 각종 질병의 예방과 치유에 크게 기여할 수 있다는 점이다[3-5]. 이러한 전곡립을 분말화하여 혼합된 상태로 판매되고 있는 것이 일명 "선식"이다. 선식은 우리나라 전통의 곡류를 중심으로 제품화한 것으로 주로 사용되는 곡류는 현미, 현미찹쌀, 보리 및 현미율무 등이며, 기타 곡류 이외의 부류로서 검정콩, 검정깨, 들깨 등 7종을 중심으로 하고 있다. 최근에는 아침 대용식뿐만 아니라 이유식, 당뇨식 등 특수 용도용 제품으로의 개발이 활발히 진행되고 있다.

그러나, 전곡립내에 각종 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 낮다. 따라서, 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. 또는 세포벽성분을 가수분해하는 효소처리방법[6]이 있으며, 이외에도 autoclaving, popping, blanching, 압출성형(extrusion) 등 주로 가열처리에 의하여 식물조직의 결합력을 약화시켜 수용화가 되는 방법이 있다[7-9].

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[10,11]. 국내에서 압출성형을 이용하여 식물 세포벽의 구조를 변화시켜 물성을 개선하고 천연 생고분자 식품소재를 생산하고자

*Corresponding author : Jae-Kwan Hwang, Bioproducts Research Center, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
Tel: 82-2-2123-3596
Fax: 82-2-312-6821
E-mail: jkhwang@yonsei.ac.kr

한 연구는 곡류, 사과박, 해조류를 대상으로 시작되었다[12]. 밀기울(wheat bran)의 경우 압출성형에 의한 수용성 식이섬유의 함량이 약 100% 증가하였고, 다른 열처리 공정에 비하여 수용화 효율이 크게 증가하였다[13]. 또한 압출성형 시료는 다른 열처리 공정에 비하여 보수력, 팽윤도 등의 물성이 높게 나타났다. 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 흡수율 증가, 세포벽 이완에 따른 곡류 내 생리활성 물질의 이용도 증진과 같은 많은 장점을 제공할 것으로 판단된다. 압출성형 기술을 이용한 곡류의 가공기술은 적용과정에서 압출성형기의 공정변수에 따라 최종 제품의 특성이 크게 변하기 때문에 최적화 개념이 필수적이다. 즉, 곡류제품의 물성, 저장성, 기능성에 많은 영향을 미치는 압출성형 과정의 압출온도, 스크류조합, 수분함량 등을 종합적으로 고려하여 가장 경제적인 공정조건의 선정이 필요하다[14,15]. 이러한 압출성형 기술은 실제적으로 식품가공 생산에 널리 적용되고 있으나, 대부분은 곡류 가공부산물인 미강, 밀기울 등에 적용되는 경우가 대부분이며[16], 전곡립을 대상으로 세포벽 수용화에 대한 연구결과는 많지 않다.

따라서, 본 연구에서는 전곡립을 이용한 기능성 식품개발을 위한 압출성형 공정의 최적 조건을 확립하게 위하여 원료의 수분함량, 반응온도, 스크류 회전속도 등의 조건에 의한 영향을 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 분석하였다.

재료 및 방법

전곡립

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

압출성형공정

본 연구에서 사용된 압출기는 동방향완전맞물림형 이축압출기(Biex-BNDL 44, Bühler Brothers Co., Swiss)로서 L/D 비 (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. 압출처리는 곡류의 구조를 효율적으로 변형하기 위해 3가지의 공정변수 즉, 반응온도, 원료반죽의 수분함량, 스크류의 회전속도를 설정하였다. 압출성형 실험조건은 Table 1에 나타내었다.

수분용해지수(Water Solubility Index: WSI)

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

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

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 각각 다음식을 이용하여 결정하였다.

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

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

Table 1. Experimental design for the extrusion of cereals

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

Table 2. Levels of extrusion conditions in experimental design

X_i[1)]	Extrusion conditions	Levels		
		-1	0	1
X_1	Temperature (°C)	110	120	130
X_2	Moisture content (%)	15	20	25
X_3	Screw speed (rpm)	200	250	300

[1)]X_i: Independent variable

최적화 인자설정

압출성형과정에서 곡류 성분의 수용화와 함께 수용화된 성분의 fragmentation이 함께 발생한다. 따라서, 압출성형의 공정 최적화를 위해서는 수용화 수율과 함께 수용성 분획의 분자량을 동시에 고려하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 압출성형에 따른 수용성 성분의 용액상의 농도(수율)와 분자량을 나타내는 고유점도([η])를 동시에 고려한 농도×고유점도를 새로운 최적화 인자로 적용하였다.

최적화

압출성형을 이용한 전곡립의 수용화에 미치는 변수효과를 검토하기 위하여 Table 2와 같이 온도, 수분, 스크류 속도의 3가지 변수를 독립변수로 한 실험을 설계하였다. 이때 반응표면분석(RSM)은 3-level factorial design으로 하여 온도(X_1)는 110~130°C, 수분함량(X_2)은 15~25%, 스크류 속도(X_3)는 200~300 rpm으로 하였으며, 상세한 실험조건은 Table 1과 같다.

또한, 압출성형에 의한 곡류의 수용화에 미치는 효과를 보

기 위한 종속변수로는 수분용해지수(WSI), 농도(C, g/dL), 고유점도([η], dL/g), 그리고 무차원군인 농도와 고유점도의 곱(C[η])을 사용하였다. 실험결과는 SAS(Statistical Analysis System) 프로그램을 이용하여 반응표면분석을 행하였으며, 모델식은 다음과 같이 2차 회귀모형을 사용하였다[17].

$$Y = \beta_0 + \Sigma\beta_i + \Sigma\Sigma\beta_{ij} X_i X_j$$

여기서, Y는 종속변수, β_0, β_i는 상수이며, X_i, X_j는 독립변수를 나타낸다.

결과 및 고찰

본 연구에서 선정한 현미, 현미찹쌀, 보리, 율무 4종의 곡류에 대하여 압출성형에 따른 수용성 성분의 수분용해지수(WSI), 농도(수율), 고유점도 및 농도×고유점도의 값을 Table 3에 나타내었다.

현미

현미에 대한 압출성형의 효과를 Table 3의 결과를 바탕으로 SAS 프로그램을 사용하여 분석하여 Table 4에 나타내었다. 수분용해지수(WSI)와 농도는 R^2이 0.948의 높은 상관관계를 보이지만, 점도와 C[η]는 0.8 이하의 값으로 상관관계를 보이지 않았다. 즉, 우리가 설정한 모델식이 결과를 예측하지 못하였다. 또한 WSI와 농도에 영향을 미치는 변수는 수분함량과 반응온도이며, 스크류 속도는 영향을 미치지 못하였다. 특히 WSI와 농도는 각 독립변수에 대해서는 동일한 상관관계를 나타내고 있다.

수분함량은 농도와 WSI에 대해 $P<0.1$로 큰 유의성을 나타내었다. 이는 압출성형에서 수분함량이 큰 역할을 하는 것을 나타내고 있다. 수분함량은 곡류에서처럼 전분질이 상당량 존재하는 경우에 전분의 호화에 영향을 주며[7], 압출성형에서의 수분함량의 증가는 점도를 감소시키고 압출성형물의 물성학적 특성을 변화시키게 된다[18]. 반면에, 고유점도에 대해서는 큰 영향을 미치지 못하는데, 고유점도는 수용화 수율과 상관없이 수용성 분획의 분자량을 나타내는 변수이므로, 이는 현미의 경우 수용성 분획의 분자량 차이가 나타나지 않는다는 것을 의미하고 있다. 일반적으로 식물세포벽을 수용화할 때는 수율의 증가에 따라 분자량이 감소하면서 상호간

Table 3. Experimental data of various variables for extrusion of cereals

Exp. No.	WSI (%)				C (g/dL)				[η] (dL/g)				C [η]			
	BR[1]	GR[2]	BA[3]	JT[4]	BR[1]	GR[2]	BA[3]	JT[4]	BR[1]	GR[2]	BA[3]	JT[4]	BR[1]	GR[2]	BA[3]	JT[4]
1	31.15	67.93	17.78	56.18	0.623	1.386	0.356	1.123	0.711	0.820	1.005	0.852	0.443	1.114	0.357	0.957
2	34.15	68.33	22.45	58.90	0.683	1.367	0.449	1.178	0.732	0.826	1.114	0.679	0.500	1.129	0.500	0.800
3	31.63	69.10	20.65	55.33	0.633	1.382	0.413	1.107	0.678	0.879	1.245	0.801	0.429	1.214	0.514	0.886
4	38.95	68.48	34.25	60.18	0.779	1.370	0.685	1.203	0.642	0.584	1.293	0.463	0.500	0.800	0.886	0.557
5	34.10	66.13	23.68	55.90	0.682	1.322	0.474	1.118	0.608	0.918	1.207	0.856	0.414	1.214	0.571	0.957
6	30.43	66.65	16.98	55.68	0.609	1.333	0.400	1.114	0.822	0.890	1.094	0.808	0.500	1.186	0.371	0.900
7	35.78	69.93	25.53	55.10	0.716	1.399	0.511	1.102	0.699	0.827	1.175	0.843	0.500	1.186	0.371	0.900
8	42.48	71.35	29.00	62.90	0.850	1.427	0.580	1.258	0.488	0.531	1.182	0.443	0.414	0.757	0.686	0.557
9	39.30	69.98	36.53	59.78	0.786	1.400	0.731	1.196	0.491	0.623	1.369	0.574	0.386	0.857	1.000	0.686
10	38.23	69.13	24.10	57.45	0.765	1.382	0.482	1.149	0.729	0.765	1.126	0.821	0.557	1.057	0.543	0.943
11	39.30	68.45	31.60	57.73	0.786	1.309	0.632	1.155	0.636	0.851	1.040	0.916	0.500	1.114	0.657	1.057
12	38.98	64.05	27.60	54.58	0.780	1.281	0.552	1.092	0.641	0.957	1.087	1.008	0.500	1.214	0.600	1.100
13	40.60	69.98	33.63	59.28	0.812	1.400	0.673	1.186	0.563	0.531	1.105	0.554	0.457	0.743	0.743	0.657

[1]BR: Brown rice, [2]GR: Glutinous rice, [3]BA: Barley, [4]JT: Job's tear

Table 4. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear or quadratic terms and interaction effects on response variables of brown rice

Source	DF	WSI		C		[η]		C[η]	
		SS[1]	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F
Model	9	174.85	0.0816	0.070	0.0816	0.086	0.4992	0.023	0.4734
Linear	3	161.50	0.0219	0.065	0.0219	0.064	0.2262	0.007	0.4635
Quadratic	3	4.11	0.7455	0.002	0.7455	0.010	0.7479	0.006	0.4858
Cross	3	9.24	0.5095	0.004	0.5095	0.012	0.7100	0.010	0.3537
R^2		0.948		0.948		0.779		0.7904	
X_1[2]	4	64.95	0.1055	0.026	0.1055	0.013	0.8048	0.014	0.3507
X_2[3]	4	95.50	0.0645	0.038	0.065	0.070	0.2776	0.013	0.3726
X_3[4]	4	13.65	0.4960	0.005	0.4960	0.011	0.8444	0.005	0.6973

[1]SS: Sum of squares of residue
[2]X_1: Temperature (°C)
[3]X_2: Moisture content (%)
[4]X_3: Screw speed (rpm)

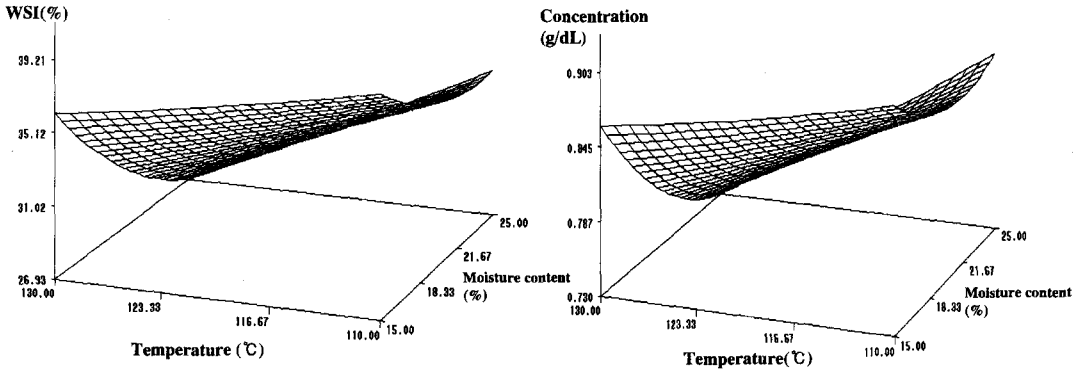

Fig. 1. Response surface plot of WSI and concentration in brown rice extrusion at constant screw speed (250 rpm).

에 어느 정도 상쇄되는 현상을 보이는 것이 일반적이나 본 실험에서처럼 전분질이 상당량 존재하는 경우에는 섬유질 성분과는 달리 압출성형에 의한 저분자화 현상이 뚜렷이 발견되지 않았다. 이에 따라 우리가 최적화 인자로 설정한 고유점도와 농도의 곱은 독립변수의 영향이 나타나지 않았다.

WSI와 농도에 대한 온도와 수분함량의 효과를 보기 위해 Fig. 1에 일정한 스크류속도(250 rpm)에서의 반응표면 곡선을 나타내었다. WSI와 농도 모두 동일한 경향을 보이고 있으며, 수분함량이 높은 경우에는 수분함량이 낮은 경우와 비교하여 온도에 의한 영향이 크게 나타난다. 이는 높은 수분함량에서는 층밀림 현상이 감소되어 마찰열 발생이 적어 압출성형기 내의 온도가 낮게 되어 온도의 영향이 더욱 크게 나타나는 것으로 판단된다[12]. 또한 온도증가에 따라 WSI와 농도가 감소하는 것은 온도가 증가하면, 곡류내의 전분의 호화정도가 증가되어 수용성 물질의 용출이 감소되는 것으로 판단된다. 반면에 수분함량에 대해서는 약 18% 정도의 값에서 최소값을 보이는 곡선을 나타내고 있다. 이는 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[19]. 따라서, 현미를 압출성형할 경우 수분함량이 가장 큰 영향을 나타내었으며, 수분함량은 약 18%일 경우에는 온도가 낮을수록 스크류 속도가 높을수록 수용화 수율이 높았으며, 분자량과 점도를 고려한 최적화 인자는 적용되지 못하였다.

현미찹쌀

현미찹쌀은 고유점도, 그리고 C[η]에 대해 상관계수가 0.944, 0.980로 높은 상관관계를 나타내었다(Table 5). 이는 현미의 경우 WSI와 농도에 높은 값을 갖고 고유점도와 C[η]에 대해서는 낮은 것에 비해 반대 경향을 보이고 있다. 고유점도는 수용화 수율과는 상관없이 수용성 물질의 분자량에 관계되는 것으로, 이는 현미찹쌀의 경우 현미에 비해 높은 아밀로펙틴 함량으로 인해 보다 물의 침투가 용이해져 효율적으로 팽화가 일어나고, 저분자화 되는 것으로 판단된다.

각 변수의 효과로는 수분함량만이 영향을 미치고 있으며, 특히 C[η]에 대해서는 높은 유의성을 가지고 있으며($P<0.01$), 현미와는 달리 반응온도의 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 최적화 인자로 설정한 C[η]의 독립변수 변화에 의한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -8.034047 + 0.100290\ X_1 + 0.356805\ X_2 - 0.005654\ X_3 - 0.000419\ X_1^2 + 0.0000005\ X_1X_2 - 0.008383\ X_2^2 + 0.00000715\ X_1X_3 + 0.000053924\ X_2X_3 + 0.000005776\ X_3^2$$

특히 수분함량 항인 X_2와 X_2^2은 5%이내의 높은 유의성을 갖고 있다.

현미찹쌀의 압출성형시에 고유점도와 C[η]에 미치는 수분

Table 5. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear or quadratic terms and interaction effects on response variables of glutinous rice

Source	DF	WSI		C		[η]		C[η]	
		SS[1]	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F
Model	9	27.072	0.9005	0.011	0.9005	0.254	0.0925	0.397	0.0212
Linear	3	16.562	0.6337	0.007	0.6337	0.167	0.0397	0.261	0.0088
Quadratic	3	9.266	0.7857	0.004	0.7857	0.086	0.0947	0.135	0.0227
Cross	3	1.243	0.9832	0.0005	0.9832	0.0007	0.9854	0.0004	0.9805
R^2		0.515		0.515		0.944		0.980	
X_1[2]	4	0.003	0.9218	0.003	0.9218	0.002	0.9840	0.0065	0.6877
X_2[3]	4	0.006	0.7783	0.006	0.7783	0.226	0.0381	0.3584	0.0082
X_3[4]	4	0.002	0.9585	0.002	0.9585	0.012	0.7042	0.01449	0.4229

[1]SS: Sum of squares of residue
[2]X_1: Temperature (°C)
[3]X_2: Moisture content (%)
[4]X_3: Screw speed (rpm)

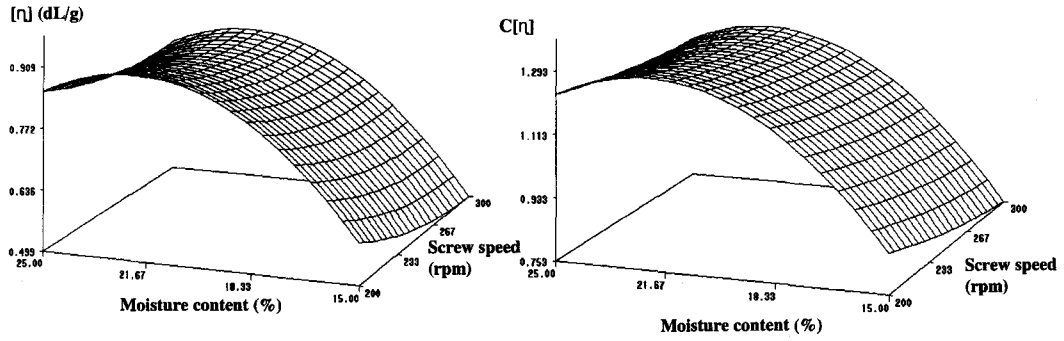

Fig. 2. Response surface plot of intrinsic viscosity and C[η] in glutinous rice extrusion at constant temperature (120°C).

Table 6. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear or quadratic terms and interaction effects on response variables of barley

Source	DF	WSI		C		[η]		C[η]	
		SS[1]	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F
Model	9	456.521	0.0627	0.183	0.0627	0.118	0.1102	0.392	0.0258
Linear	3	383.220	0.0190	0.153	0.0190	0.064	0.0612	0.287	0.0092
Quadratic	3	15.108	0.5946	0.006	0.5946	0.017	0.2837	0.021	0.2531
Cross	3	58.193	0.2061	0.023	0.2061	0.034	0.1224	0.083	0.0518
R^2		0.957		0.957		0.936		0.977	
X_1[2]	4	73.196	0.2211	0.030	0.2211	0.054	0.1096	0.047	0.1508
X_2[3]	4	387.224	0.0272	0.155	0.0272	0.076	0.0698	0.374	0.0092
X_3[4]	4	54.060	0.2996	0.022	0.2996	0.029	0.2189	0.017	0.0976

[1]SS: Sum of squares of residue
[2]X_1: Temperature (°C)
[3]X_2: Moisture content (%)
[4]X_3: Screw speed (rpm)

함량과 스크류 속도의 영향을 일정한 반응온도(120°C)에서 반응표면 곡선으로 나타내었다(Fig. 2). 고유점도와 C[η]는 동일한 경향을 보이고 있어, 수용성물질의 농도(수율) 보다는 고유점도가 더 큰 효과를 가지는 것으로 판단된다. 최적화 인자로 설정한 농도와 고유점도의 곱합수인 C[η]은 수분함량이 22% 부근에서 최대값을 보인 후에 수분함량이 감소함에 따라 급격히 감소하였다. 이는 현미에서 WSI에 대한 수분의 효과와 같은 의미를 갖는 것으로 판단된다. 이에 비해 스크류 속도에 의해서는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 현미찹쌀의 경우에는 구조가 복잡한 아밀로펙틴의 함량이 현미에 비해 높아 최적화인자로 설정한 C[η]이 의미를 갖는 것으로 판단된다. C[η]은 수분함량에 의해 크게 영향을 받으며, 수분함량 22% 부근에서 최대값을 나타내었다.

보리

보리에 대한 압출성형시 각 값에 대한 상관관계를 Table 6에 나타내었다. 보리의 경우에는 WSI, 농도, 고유점도 그리고 C[η] 모두에 대하여 높은 상관관계(R^2 = 0.936~0.977)를 보여, 현미, 현미찹쌀과는 다른 경향을 보였다. 이는 보리의 경우 β-glucan과 같은 섬유질의 함량이 높아 압출성형에 의해 수용화되는 정도가 더 큰 것으로 판단된다. 현미류와 마찬가지로 수분함량의 영향은 크게 나타나며, 특히 최적화인자로

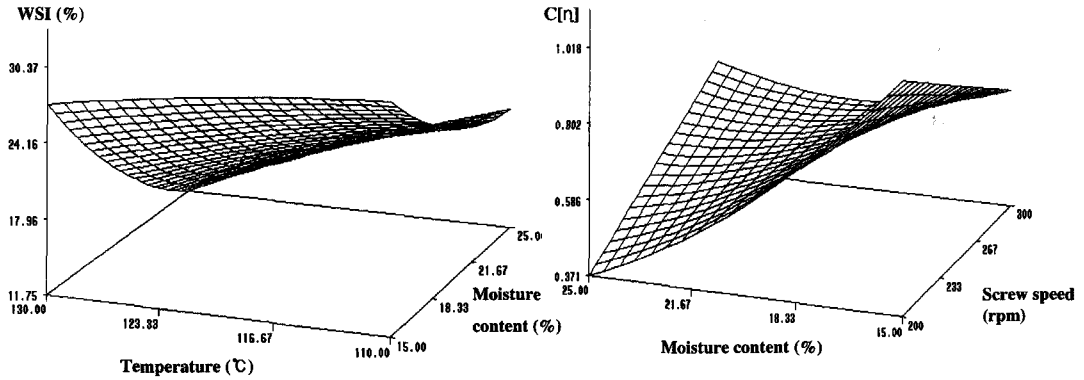

Fig. 3. Response surface plot of WSI and C[η] in barley extrusion.

Table 7. Analysis of variance showing effects of treatment variables as linear or quadratic terms and interaction effects on response variables of Job's tear

Source	DF	WSI		C		[η]		C[η]	
		SS[1)]	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F	SS	Prov>F
Model	9	72.016	0.0152	0.029	0.0152	0.364	0.0855	0.365	0.0834
Linear	3	49.865	0.0058	0.020	0.0058	0.253	0.0341	0.253	0.0333
Quadratic	3	20.781	0.0205	0.008	0.0205	0.104	0.1073	0.102	0.1086
Cross	3	1.370	0.4497	0.0005	0.4497	0.007	0.8121	0.010	0.7194
R^2		0.984		0.984		0.947		0.948	
X_1[2)]	4	1.688	0.4939	0.0007	0.4939	0.036	0.4305	0.043	0.3668
X_2[3)]	4	48.31	0.0090	0.019	0.0090	0.292	0.0404	0.293	0.0393
X_3[4)]	4	21.13	0.0291	0.008	0.0291	0.019	0.64112	0.0140	0.7326

[1)]SS: Sum of squares of residue
[2)]X_1: Temperature (℃)
[3)]X_2: Moisture content (%)
[4)]X_3: Screw speed (rpm)

설정한 C[η]에 대해서 유의성이 매우 큰 것으로 나타났다 (P<0.01). 보리에서 독립변수 변화에 의한 C[η]의 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = -7.172909 + 0.174878\ X_1 - 0.113881\ X_2 - 0.008298\ X_3 - 0.000569\ X_1^2 - 0.001643\ X_1X_2 + 0.002958\ X_2^2 - 0.0000357\ X_1X_3 + 0.00064\ X_2X_3 - 0.000000179\ X_3^2$$

식에서 X_1X_2, X_2X_3 항은 5%이내의 유의성을 보이고 있다.

보리에서 반응표면 곡선을 나타낸 Fig. 3에서 WSI에 대한 온도와 수분함량의 영향은 높은 수분함량에서는 온도의 영향을 많이 받고 있으며, 약 24%의 수분함량에서 최소값을 나타내었다. 이때의 WSI 값은 현미에 비해 낮은 값을 보이지만 경향은 유사하였다. 최적화인자인 농도와 고유점도의 곱합수인 C[η]은 수분함량이 높은 경우에는 스크류 속도가 증가함에 따라 급격히 증가한 반면에, 수분함량이 낮은 경우에는 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 이는 수분함량이 감소함에 따라 C[η]값이 급격히 감소하는 현미찹쌀과는 다른 경향을 보이고 있다. 이는 현미찹쌀과 보리의 구조적 차이로 판단된다. 따라서, 섬유질 함량이 높은 보리에서는 현미와는 달리 WSI, 농도, 고유점도 그리고 C[η] 모두에서 높은 상관관계를 보이고 있으며, 최적화 인자로 설정한 C[η]이 의미를 갖는 것으로 판단된다.

현미율무

현미율무의 경우에도 보리와 유사하게 WSI, 농도, 고유점도 그리고 C[η]에 대해 R2이 0.947~0.984의 높은 상관관계를 나타내었다(Table 7). WSI와 농도에 대한 수분함량의 효과는 P<0.01로 높았으며 스크류 속도도 영향을 미치고 있다 (P<0.05). 반면에 고유점도와 C[η]에 대해서는 수분함량만이 영향을 미치며(P<0.05), 스크류 속도는 전혀 영향이 없는 것으로 나타났다. 보리에서는 C[η]에 대해서 스크류 속도가 높은 유의성을 보인것과는 대조를 보이고 있으며, 현미찹쌀과는 수용화 수율에서도 높은 상관관계를 보이는 것이 차이를 보이고 있다. 현미찹쌀에서 독립변수 변화에 의한 C[η]의 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = 1.95891 - 0.035104\ X_1 + 0.177809\ X_2 - 0.004451\ X_3 + 0.000091953\ X_1^2 + 0.000571\ X_1X_2 - 0.006635\ X_2^2 - 0.0000214\ X_1X_3 + 0.000211\ X_2X_3 + 0.000004738\ X_3^2$$

식에서 X_2^2 항이 5% 이내의 유의성을 나타내어 수분함량이 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 현미율무의 경우 다른 곡류와는 달리 단백질과 지질이 함량이 높아 다른 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다.

WSI에 미치는 수분함량과 스크류 속도를 Fig. 4에서 살펴보면, 수분함량에 대해서는 최소값을 갖는 곡선을 보이며, 스크류 속도에 대해서는 완만하게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 수분함량이 미치는 효과는 현미와 보리의 경우와 유사한 반면에 그 값은 약 2배 정도 증가된 값을 보이고 있다. 최적화인자인 농도와 고유점도의 곱합수인 C[η]에 대하여는 온도는 큰 영향을 미치지 못하고 있으며, 수분함량에 대해서

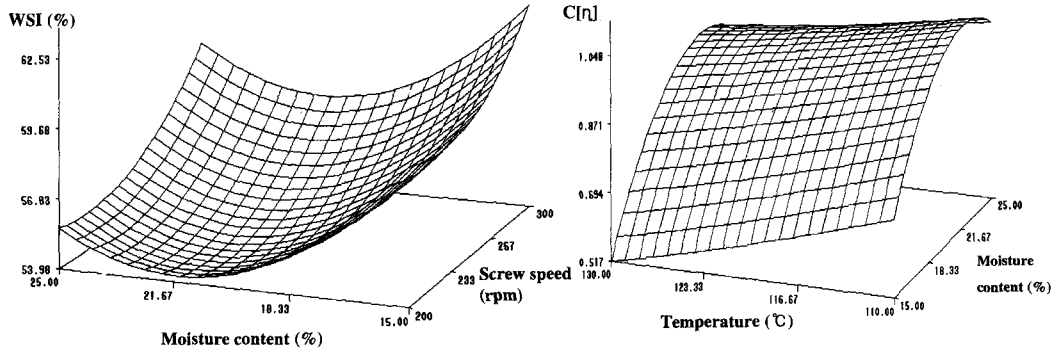

Fig. 4. Response surface plot of WSI and C[η] in Job's tear extrusion.

Table 8. Critical values from the canonical analysis of response surface for the extrusion of cereals

Variable[1)]	Glutinous rice	Barley	Job's tear
X_1	122.43	116.05	147.6
X_2	22.28	19.51	24.02
X_3	309.65	294.59	269.2
Stationary value	1.205	0.637	0.905

[1)]X_1: Temperature(℃), X_2: Moisture content(%), X_3: Screw speed(rpm)

는 현미찹쌀과 유사하게 약 22%에서 최대값을 나타내며, 수분함량의 증가에 따라 증가한 경향을 보였다. 이는 현미찹쌀과 마찬가지로 높은 아밀로펙틴 함량 때문인 것으로 판단된다.

전곡립의 압출성형에 대한 최적조건 예측

전곡립에서의 최적조건을 예측하기 위하여 최적화인자인 농도와 고유점도의 곱합수인 C[η]을 회귀분석한 결과를 Table 8에 나타내었다. 현미의 경우에는 C[η]의 유의성을 찾을 수 없었으나, 현미찹쌀, 보리, 현미율무에 대해서는 임계점을 찾을 수 있었다. 임계점은 스크류 속도는 약 300 rpm, 수분함량은 20%, 온도는 120℃인 지점에서 나타났다(Table 8). 그러나, 전곡립의 종류에 따른 다른 값들을 나타내며, 특히 보리의 경우에서는 Fig. 3에서 나타낸것과 같이 다른 경향을 보이고 있어, 이것에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다. 또한 Table 8에 나타낸 모든 점이 안장점을 나타내어, 능선분석 등을 통하여 최적점을 찾아야 할 것으로 판단되었다.

요 약

전곡립을 이용한 기능성 식품개발을 위하여 현미, 현미찹쌀, 보리, 현미율무를 온도 110~130℃, 수분함량 15~25%, 스크류속도 200~300 rpm의 조건에서 압출성형하고, 반응표면분석법(RSM)을 이용하여 최적조건을 분석하였다. 압출공정에 의한 전곡립의 수용화 효과는 수분용해지수(WSI), 농도(수율), 고유점도를 측정하였으며, 수율과 고유점도를 동시에 고려하여 새로운 무차원군의 최적인자인 C[η]를 적용하여 최적조건을 찾고자 하였다. 각 조건별 실험결과를 반응표면분석을 실시하여 본 결과, 종속변수들에 대한 결정계수(R^2)는 0.936~0.984 범위로 나타났다. 현미의 경우에는 수용화 수율, 현미찹쌀은 고유점도, 보리와 현미율무는 수용화 수율과 고유점도에 대해서 모델식이 유의성을 나타내었다. 특히 독립변수 중에서는 수분함량이 가장 큰 영향을 보였다. 최적인자인 C[η]에는 고유점도가 더 큰 영향을 미치므로, 현미의 경우에서는 유의성을 보이지 않았다. 현미의 경우를 제외하고 최적화 인자로 설정한 C[η]의 최적값을 찾기 위하여 회귀분석을 한 결과 임계점은 스크류 속도는 약 300 rpm, 수분함량은 20%, 온도는 120℃인 지점에서 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림부의 농림기술개발사업에 의하여 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Dey, P.M. and Brinson, K. Plant cell walls. Adv. Carbohydr. Chem. Biochem. 42: 265-382 (1984)
2. Brett, C. and Waldron, K. Cell wall structure and the skeletal functions of the walls. In: Physiology and Biochemistry of Plant Cell Walls, Hyman, U.(ed.). London, pp. 4-57 (1990)
3. Thomson, L.N. Antioxidants and hormone-mediated health benefits of whole grains. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 34: 473-494 (1994)
4. Buring, J.E. and Hennekens, C.H. Antioxidant vitamins and cardiovascular disease. Nutr. Rev. 55: s53-s60 (1997)
5. Am. Diabetes Assoc. Translation of the diabetes nutrition recommendations for health care institutions. Diabetes Care 20 (Suppl 1): 106-108 (1997)
6. 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)
7. Siljestrm, M., Westerlund, E., Bjrck, 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)
8. 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)
9. 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)
10. Linko, P., Colonna, P. and Mercier, C. High-temperature, short-time extrusion cooking. In: Advances in Cereal Science and Technology. Vol 4. Pomeranz, Y. (ed.), AACC, St. Paul, MN, pp. 145 (1981)
11. Wiedman, W. and Strobel, E. Processing and economic advantage of extrusion cooking in comparison with conventional processing in the food industry. In: Extrusion Technology for the Food Industry, O'Connor, C. (ed.), Elsevier Applied Science, New York, pp. 132-169 (1987)
12. Kim, C.J., Kim, J.T., Hwang, J.K., Hong, S.I. and Cho, S.J. Development of processing technology of under utilized food resources by extrusion. Research Report E 1293-0532, Korea Food Research Institute (1994)
13. Hwang, J.K., Kim, J.T., Cho, S.J. and Kim, C.J. Effects of various thermal treatments on physicochemical properties of wheat bran. Korean J. Food Sci. Technol. 27: 394-403 (1995)
14. Kim, C.T., Hwang, J.K., Cho, S.J., Kim, C.J. and Kim, H.S. Modification of physico-chemical properties of wheat bran by twin - screw extrusion process I. Effect of screw configuration and process parameters on system parameters. Korean J. Food Sci. Technol. 27: 404-413 (1995)
15. Kim, C.T., Hwang, J.K., Cho, S.J., Kim, C.J. and Kim, H.S. Effect of screw configurations and process parameters on characteristics of wheat bran extrudates. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 169-179 (1996)
16. Hwang, J.K., Kim, J.T., Hong, S.I. and Kim, C.J. Solubilization of plant cell walls by extrusion. J. Korean Soc. Food Nutr. 23: 358-370 (1994)
17. SAS Institute Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis System Institute. Cary, NC, USA (1990)
18. 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(1): 10-13 (2000)
19. Kim, J.J. and Ryu, G.H. Effects of extrusion process parameters on puffing of extruded pellets. Korean J. Food Sci. Technol. 33(1): 55-59 (2001)

(2001년 9월 18일 접수)