

물리적 변성 쌀전분과 호화 쌀전분의 생리적 효과 비교연구: 성장 능력과 장기의 생리적 기능⁺

장문정 · 김명환*

국민대학교 식품영양학과, 단국대학교 식품공학과*
(2003년 11월 17일 접수)

Comparative Growth Performance and Physiological Function of Physically Modified Rice Starch and Gelatinized Rice Starch in Growing Rats⁺

Moon-Jeong Chang and Myung Hwan Kim*

Dept. of Foods & Nutrition, Kookmin University, Dept. of Food Engineering, Dankook University*

(Received November 17, 2003)

Abstract

Male rats were fed a purified diet containing one of 3 experimental diets, gelatinized rice starch that was not modified physically (RC), gelatinized physically modified rice starch using ultrasonic homogenizer(RU), gelatinized physically modified rice starch using hydroshear homogenizer(RH) during 28 days. RC was used as the rice starch control. Feeding a physically modified rice starch (RU) caused an increase in liver weight and RH increased RNA and protein contents in kidney significantly although there were no differences in food intakes compared to feeding a RC diet. The wet weight of liver, kidney and heart were higher in RU. The wet weights of fecal output of the rats fed RH was greater than in rice control group. The gut transit time was longer in the rats fed RH than in the rice control group significantly. Serum GOT, GPT, total bilirubin concentration were tended to be lower and blood urea nitrogen was significantly lower in RH group. The maturation index of kidney was higher in RU than in RC. These results suggest that physically modified rice starch improved growth performance and physiological functions in organs of growing rats.

Key Words : physically modified rice starch, growth performance, liver function, intestinal function, kidney function

I. 서론

과거 20-30년간 우리나라 국민의 식생활양상은 많은 변화를 가져 왔다. 식생활의 변화 중 가장 두드러진 것은 우리나라의 식생활에서 중요한 주식의

위치를 차지하고 있는 곡류 섭취의 변화를 들 수 있다. 곡류의 1인당 공급량은 1980년 이후 계속 감소하여 왔으며¹⁾ 반면, 식생활 소비구조에 있어서 편의성 및 건강추구경향으로 인해 유아용, 어린이용, 임신부용, 환자용 또는 노인을 대상으로 한 특별용

⁺ This study was supported by Research Fund of Dankook University in 2003.

교신저자: Myung Hwan Kim, Dept. of Food Engineering, Dankook University, Chonan, 330-714, Korea Tel: 82-41-550-3563

E-mail: kmh1@dankook.ac.kr

도용 기능성식품에 대한 수요는 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.

우리 나라 영아는 1960년대 이후 이유를 시작하는 시기가 점차 빨라져 조사대상자의 80% 이상이 6개월전에 이유를 시작하는 것으로 보고되고 있다.²⁾ 조사에 의하면 도시지역의 경우 조사대상의 76%가 생후 6개월 이내에 이유를 시작하고³⁾⁴⁾ 이유하는 영아의 66.7~100%는 시판 식품을 사용하고 있는 것으로 보고 되었다.⁵⁾ 일반적으로 시판되는 조제분유 및 이유식은 성장에 있어서 명백히 이로운 점이 없음에도 불구하고 안정성을 이유로 들어 모유와는 그 구성에 있어서 상당한 차이가 있으나 이들 제품에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 특히 영유아 및 성장기 아동의 경우 생리적인 기능이 미숙하여 감염성 질환의 이환율이나 알레르기성 질환이 나타나기 쉬움에도 불구하고 우리나라의 경우 4개월 이전의 조기 이유 경향이 만연함에 따라 영유아의 생리적 기능에 적합한 식품의 개발이 필요하다. 그럼에도 불구하고 적절한 국산제품이 나와 있지 않아 소비자들이 미국산 또는 유럽산 수입품을 찾게 되는 것으로 보이며 앞으로 한국형 이유식품의 개발 작업이 필요하다.

식품의 일차적 기능 특히 탄수화물은 열량 영양소의 공급기능으로 인식되어 왔으나 최근에 와서는 식품 성분들의 기존의 영양소 공급역할 외에 여러 생리작용에 다양하게 작용할 수 있다는 연구들이 많이 보고되고 있다.⁶⁾⁷⁾ 전분은 용해도, 점도, 가공적성을 향상시키기 위해 물리적, 화학적 방법에 의해 변성화시키는 데, 화학적 변성전분은 사용하는 화학물질의 안전성으로 인해 엄격한 규제를 받고 있어 사용에 제한을 받고 있다. 반면, 물리적 변성전분은 물리적 방법에 의하여 분자구조를 변형시켜 인체에 유해하지 않으면서 입체구조의 변화로 점성이 낮아지며, 분자량의 감소로 인해 단위g 당 열량 밀도는 높아지는 효과가 있으며 수분흡수력과 결합력이 변화되어 섭취시 천연상태의 전분과는 다른 생리적 효과가 기대되는 성분이다. 특히 영양밀도가 높은 식품의 섭취는 소화기능이 미숙한 유아나 어린이, 노화로 인해 소화기능이 감퇴된 노인, 영양소 요구량이 높은 임신부나 환자, 성장기 어린이의 성장발육 촉진을 비롯한 건강을 증진시키는데 효과가 있다. 식품의 물리적 형태의 변화, 제조과정 및 급

원의 다양성은 생체의 소화흡수율을 비롯한 장 기능에 영향을 주며 흡수 후에도 생리기능에 영향을 주는 데 물리적으로 변성된 전분의 섭취가 장 기능 및 체내 기관 성장을 비롯한 생리기능에 미치는 영향 연구는 거의 없는 실정이다. 우리나라에서 제조, 시판되고 있는 이유식품은 주로 분말 형태이고 주요 구성성분 구성성분은 쌀가루가 20~50%가 들어 있으며 그 외 용도에 따라 필수영양소를 함유한 성분으로 구성되어 있다.⁸⁾

따라서 본 연구는 우리나라 영유아용 이유식의 주원료로 사용되는 쌀을 물리적으로 변성시켜 변성된 쌀 전분의 섭취가 장 통과시간, 변무게 변화 등의 장 기능과 영양소 흡수율, 성장기 동물의 성장발육 및 기관의 생리기능에 미치는 영향을 검색하여 이유식 및 특별 용도용 기능성 식품으로의 사용 가능성을 규명하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 물리적 변성 쌀전분의 제조

추청벼(*Oryza sativa L.*)를 롤러 분쇄기로 분쇄하여 42 mesh 이하 체에 걸러 쌀가루를 만든 다음 0.2% NaOH 용액을 가한 뒤 형성된 침전물을 증류수로 중성이 될 때 까지 씻어 정제된 쌀전분을 얻었다. 정제된 쌀 전분과 물을 1:3~1:5(w/v)로 조절하여 100°C로 가열하여 호화시켰다. 호화된 현탁액을 유체전단형 균질기(hydroshear homogenizer, HH), 초음파균질기(ultrasonic homogenizer, UH)를 사용하여 무작위적 분해를 유발한뒤 동결건조법에 의하여 수분함량 6%까지 건조 시킨 다음 분말 제품을 얻었다.

2. 실험동물의 사육과 실험식이

4주령 된 (평균 체중 92.8g) Sprague-Dawley 중수컷 흰쥐 (대한실험동물센터) 24마리를 난괴법에 의하여 3군으로 나누어 섭취하는 탄수화물의 종류를 달리한 4종의 실험식이를 4주동안 급여하였다. 실험군의 분류는 1) 일반 쌀전분을 섭취하는 군(rice starch control, RC군), 2) 초음파균질기에 의해 물리적 변성된 쌀전분 섭취군(ultrasonic homogenized rice

starch, RU군), 3) 유체전단형 균질기로 물리적 변형시킨 쌀전분 섹취군(hydroshear homogenized rice starch, RH군)으로 하였다. 실험식은 <Table 1>과 같이 AIN-93G 식이를 약간 변형한 기본식이를 공급하였다. 일반 쌀전분에 사용된 전분은 호화가 일어난 물리적 변형 전분과 조건을 동일하게 하기 위하여 호화시킨 것을 사용하였다. 실험동물은 stainless cage에 한 마리씩 분리 사육하였으며 사육실의 환경은 온도 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도($60 \pm 5\%$), 명암

은 12시간 주기(light 6:00 AM-6:00 PM)로 일정하게 유지하였다. 실험 식이와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였다. 체중은 일주일에 한번 같은 시각에 측정하였으며, 식이 섭취량은 2일에 1번 일정시간에 측정하여 식이 효율을 계산하였다.

3. 실험방법

1) 장 통과시간(Gastrointestinal transit time)의 측정

장 통과시간은 사육 2주 후에 12시간 절식시킨 후 실험동물 1마리당 사료 2g에 10% Carmine red (Sigma Chem. CO., USA)를 1ml 첨가하여 섭취시킨 후 실험사료를 급여하였고 그 후 붉은색 변이 나오는 처음시간으로 하였다.⁹⁾

2) 분변 수집 및 분변중 수분함량 측정

실험종료 전 실험동물을 대사장으로 옮겨 72시간 동안의 변을 채취하여 wet weight를 측정한 후, -50°C 에서 냉동시켰다가 항량에 도달할 때까지 건조시킨 다음 dry weight를 측정하고 wet weight와의 차이를 수분함량으로 하였다.

3) 혈액 및 각종 장기의 채취

혈액은 실험기간 종료 전 12시간 굶긴 동물을 단 두하여 혈액을 채취하였으며, 3,000rpm에서 30분간 원심 분리하여 혈청을 채취한 후 분석 전까지 -50°C 에서 냉동 보관하였다. 혈액채취 후 즉시 간, 심장, 신장을 떼어 지방을 제거하고 냉장 생리식염수에 세척한 다음 filter paper로 수분을 제거한 후 무게를 측정하고 분석을 위해 바로 -50°C 에서 냉동 보관하였다

4) 비피더스 증식효과

실험 식이를 섭취한 0, 4주째 되는 날에 쥐의 항문을 자극하여 분변을 인위적으로 채취하여 멸균 phosphate buffer에 일정농도로 희석한 후, *bifidobacteria* 선택용 배지인 BL 한천배지(Becton & Dickenson, CO., USA)에 항생물질을 첨가한 BS배지를 사용하여 혐기성 배양기에서 37°C 로 72시간 배양한 후 균수를 측정하였다. 배지의 조성은 <Table 2>와 같다.

<Table 1> Composition of experimental diets

Ingredient	(g/kg diet)		
	RC	RU	RH
Casein	200.000	200.000	200.000
Rice starch, control	529.486		
Rice starch, Ultrasonic homogenized		529.486	
Rice starch, Hydroshear homogenized			529.486
Sucrose	100.000	100.000	100.000
Soybean oil	70.000	70.000	70.000
Cellulose	50.000	50.000	50.000
Mineral mix ¹⁾	35.000	35.000	35.000
Vitamin mix ²⁾	10.000	10.000	10.000
L-Cystine	3.000	3.000	3.000
Choline bitartrate (41.1% choline)	2.500	2.500	2.500
Tert-butylhydroquinone	0.014	0.014	0.014

1) Mineral mixture : AIN-93G mineral mixture(g/kg mix)

Calcium carbonate, anhydrous 357.00 : Potassium phosphate, monobasic 196.00 : potassium citrate, tri-potassium, monohydrate 70.78 : Sodium chloride 74.00 : potassium sulfate 46.60 : Magnesium oxide 24.00 : ferric citrate 6.06 : Zinc carbonate 1.65 : manganous carbonate 0.63 : Cupric carbonate 0.30 : Potassium iodate 0.01 : Sodium selenate, anhydrous 0.01025 : Ammonium paramolybdate, 4 hydrate 0.00795 : Sodium meta-silicate, 9 hydrate 1.45 : Chromium potassium sulfate, 12 hydrate 0.275 : Lithium chloride 0.0174 : Boric acid 0.0815 ; Sodium fluoride 0.0635 : Nickel Carbonate 0.0318 : Ammonium vanadate 0.0066 : Powdered sucrose 221.026

2) Vitamin mixture : AIN 93G Vitamin mixture 9g/kg mix)

nicotinic acid 3.000 : Ca panthothenate 1.600 : Pyridoxine-HCl 0.700 : Thiamin-HCl 0.600 : Riboflavin 0.600 : Folic acid 0.200 : D-Biotin 0.020 : Vitamin B12(cyanocobalamin) 2.500 : Vitamin E(all-rac- -tocopheryl acetate, 500IU/g) 15.000 : Vitamin A(all-trans-retinyl palmitate, 500,000IU/g) 0.800 : Vitamin D3(cholecalciferol, 400,000IU/g) 0.250 : Vitamin K9phylloquinone) 0.075 : Powdered sucrose 974.655

<Table 2> Composition of BS agar medium

Composition	Content
BL agar medium	1000ml
BS solution	50ml
Sodium propionate	30g
Paromomyin sulfate	100mg
Neomycin sulfate	400mg
Lithium chloride	6g
Distilled water	100ml

5) 혈액, 소변 및 각종 장기 조직의 분석

혈청중 간기능을 나타내는 지표들 (총단백질, albumin, total bilirubin, GOT, GPT)과 신장기능을 나타내는 지표들(혈중 요소질소, 크레아티닌과 소변의 크레아티닌, 요소질소)은 효소법을 이용한 Kit (인화제약(주))로 측정하였다. 사구체 여과율을 구하기 위해서 크레아티닌 제거율(creatinine clearance)을 사용하였다.

장기 조직중의 DNA, RNA, protein 함량은 조직을 균질기로 분쇄하여 적정농도로 희석한 후, DNA 함량은 diphenylamine method,¹⁰⁾ RNA의 함량은 orcinol method¹¹⁾ 비색정량하였다. 조직의 단백질 함량은 Lowry method¹²⁾로 비색정량하였다.

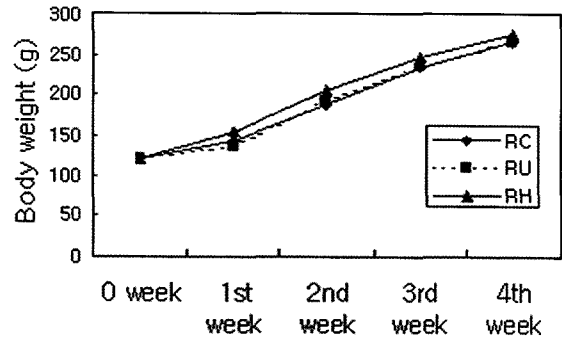
4. 통계분석

본 연구의 모든 실험결과는 SPSS 7.5 for windows package를 이용하여 각 군의 평균과 표준편차를 구하고, 실험군간의 평균의 유의성은 분산분석(ANOVA)을 한 후 Duncan's multiple range test에 의하여 검정하였다.

III. 결과

1. 성장과 식이섭취량

실험 기간동안의 성장곡선을 <Fig. 1>에 식이섭취량, 체중증가량, 식이효율은 <Table 3>에 제시하였다. 체중증가량 및 식이효율은 탄수화물의 섭취에 따른 유의적인 영향을 받지 않았으나 RH군의 1일 체중증가량과 식이섭취량이 비교적 높은 편이었다.



<Fig. 1> Growth change during experimental period

<Table 3> Food intake, weight gain and food efficiency ratio(FER)¹⁾

	Food intake(g/day)	Weight gain(g)	FER
RC	17.49±2.60 ^{NS2)}	5.15±0.90 ^{NS}	0.29±0.02 ^{NS}
RU	17.71±1.66	5.20±1.19	0.29±0.05
RH	19.09±1.54	5.57±0.44	0.29±0.02

1) Mean±SD

2) NS: Not significant

2. 장 기능

물리적 변성 쌀전분의 섭취가 장 내용물의 장 통과시간(GI transit time), 분변 배설량, 분변 중 고형물과 수분의 함량에 미치는 효과는 <Table 4>와 같다. 각 실험군의 장 통과시간은 732.3~826.4분으로 RH군의 장 통과시간이 가장 길었으며 RU군, RC군 순으로 짧았다. RH군은 RC군에 비해 통계적으로 유의하게 장 내용물의 장통과 시간이 길었다. 분변의 총량과 고형물량(건조중량), 수분함량은 모든 실험

<Table 4> Wet fecal weight(WFW), dry fecal weight(DFW), water content in feces and transit time¹⁾

	WFW	DFW	Water content(%)	GI transit time
RC	1.21±0.42 ^{NS}	0.87±0.24 ^{NS}	26.59±8.13 ^{NS}	732.3±80.3 ^{b3)}
RU	1.29±0.31	0.89±0.21	29.79±12.45	756.6±83.2 ^{ab}
RH	1.43±0.71	0.97±0.39	28.30±13.73	826.4±72.9 ^a

1) Mean±SD

2) NS: Not significant

3) Values with different superscripts within the column are significantly different among groups at =0.05 level by Duncan's multiple range test.

군에서 유의적인 차이가 없었으나 RH군의 분변배설량이 다른 군에 비해 비교적 높은 편이었다. 분변의 건조중량도 RH군이 다른 군에 비해 높은 편이었다.

<Table 5>에서는 장내의 비피더스 균수 측정에 대한 결과를 제시하였다. 실험식이 투여 전 후의 비피더스 균수는 각 실험군들간에 유의적 차이가 없었다.

3. 기관의 성장 및 기능의 변화

1) 간조직의 성장

간조직의 무게는 <Table 6>에 제시된 바와 같이 RU군은 RC군에 비해 유의적으로 높았다. DNA 함량과 RNA 함량, protein 함량은 각 실험군 간에 유

<Table 5> The number of rat fecal *Bifidobacteria*¹⁾
(log colonyforming unit(cfu)/g wet feces)

	0 week	4th week
RC	8.06±0.12 ^{NS2)}	8.25±0.40 ^{NS}
RU	8.26±0.30	8.28±0.12
RH	8.07±0.21	8.67±0.17

1) Mean±SD

<Table 6> The weight, DNA, RNA and protein contents of liver¹⁾

	wet weight(g)	DNA(mg)	RNA(mg)	protein(mg)	protein/DNA
RC	7.88±1.09 ^{b2)}	21.0±0.3 ^{NS3)}	98.25±13.65 ^{NS}	488.8±80.4 ^{NS}	23.3±2.8 ^{NS}
RU	9.05±1.64 ^a	20.1±0.2	99.02±17.97	521.6±17.97	25.9±2.8
RH	7.97±0.86 ^b	20.2±0.2	105.45±16.47	540.3±160.2	26.4±4.6

1) Mean±SD

2) Values with different superscripts within the column are significantly different among groups at = 0.05 level by Duncan's multiple range test.

3) NS: Not significant

<Table 7> The weight, DNA, RNA and protein contents of kidney¹⁾

	wet weight(g)	DNA(mg)	RNA(mg)	protein(mg)	protein/DNA
RC	2.15±0.20 ^{NS2)}	2.53±0.44 ^{NS}	32.25±8.53 ^{b3)}	290.0±95.9 ^{NS}	114.2±31.6 ^{NS}
RU	2.17±0.21	2.69±0.57	37.18±7.38 ^b	328.1±101.0	130.2±49.8
RH	2.11±0.17	2.54±0.48	40.85±5.50 ^a	333.5±106.8	134.0±54.1

1) Mean±SD

2) NS: Not significant

3) Values with different superscripts within the column are significantly different among groups at = 0.05 level by Duncan's multiple range test.

의적인 차이가 없었으나, RH군에서 RNA 함량과 단백질 함량이 다른 군에 비해 높은 편이었다. 단백질 함량도 물리적 변성 찌꺼기 분획에서 높은 경향이였다.

2) 신장조직의 성장

신장의 무게, DNA함량은 각 실험군들 간에 유의적인 차이가 없었다.(Table 7) 그러나 RNA 함량은 물리적 변성시킨 전분을 섭취한 RH군이 RC군에 비해 유의하게 높았다. 단백질 함량은 통계적인 유의성은 없었으나 물리적 변성 찌꺼기 분획에서 높은 편이었다. Protein/DNA ratio도 물리적 변성 찌꺼기 분획에서 RH군과 RU군이 일반 찌꺼기 분획군인 RC에 비해 높은 편이었다. Protein/DNA ratio는 세포의 크기를 나타내주는 지표로 물리적 변성 찌꺼기 분획이 신장조직의 세포의 크기를 증가시키는 것으로 사료된다.

3) 심장조직의 성장

심장 조직의 무게, DNA, RNA, 단백질, protein/DNA ratio에 대한 결과는 <Table 8>과 같다. 심장의 무게, DNA, RNA, protein/DNA ratio는 실험식이 섭

<Table 8> The wet weight, DNA, RNA and protein contents of heart¹⁾

	wet weight(g)	DNA(mg)	RNA(mg)	protein(mg)	protein/DNA
RC	0.98±0.10 ^{NS2)}	17.7±2.4 ^{NS}	22.18±3.64 ^{NS}	274.3±52.4 ^{ab3)}	25.9±7.4 ^{NS}
RU	1.06±0.15	16.8±2.7	20.86±5.06	257.4±60.5 ^{ab}	25.7±6.9
RH	1.02±0.13	15.6±2.3	24.13±5.82	203.2±34.6 ^b	21.0±2.0

1) Mean ±SD

2) NS: Not significant

3) Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

취에 따른 영향을 유의적인 차이가 없었다. 단백질 함량은 RC군이 RH군에 비해 유의하게 높았으며 RC군, RU군, RH군 순으로 낮아졌다. Protein/DNA ratio는 RC군과 RU군이 유의하지는 않으나 RH군에 비해 높은 경향이였다.

4. 간기능

간기능을 나타내주는 지표인 혈중 GOT, GPT 활성은 모든 실험군에서 정상범위내에서 차이가 없었으나 RH군이 다른 실험식이 섭취군에 비해 비교적 낮았다.(Table 9) 총 빌리루빈도 간기능을 나타내 줄 수 있는 지표로 간세포 장애가 있거나 유아에 있어서 간내 담즙의 배설이 불완전할 때 그 수치가 증가한다. 본 연구의 각 실험군의 총 빌리루빈의 농도도 모두 정상범위내 였으며 통계적인 유의성은 없었으나 물리적 변성 쌀 전분섭취군인 RU 군과 RH군이 RC군에 비해 낮은 편이었다. 간기능 성숙을 나타내 주는 혈중 요소 질소(Blood urea nitrogen, BUN)는 RH군이 RC군과 RU군에 비해 낮았으며, RH군은

RU군에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다.

5. 신장 기능

성장기에 탄수화물 섭취 급원의 차이에 따른 신장기능의 차이를 확인하기 위해 혈청 총단백질, 알부민 및 albumin/globulin ratio (A/G 비율)와 신장 손상의 지표로 사용될 수 있는 혈청 요소질소와 크레아티닌 함량의 결과는 <Table 10>에 제시하였다.

혈청 총 단백질과 알부민은 각 실험군간의 통계적인 유의성은 없었다. A/G ratio는 RU군과 RH군이 RC군에 비해 다소 높은 편이었다. 혈중 크레아티닌함량은 RU군이 유의하게 낮았다.

신장기능의 차이를 알아 보기 위해 뇨중 요소질소, 크레아티닌 함량 및 크레아티닌 clearance로 사구체여과율을 측정 한 결과는 <Table 11>과 같다. 뇨의 크레아티닌 함량은 RU군과 RH군이 RC군에 비해 유의하게 높았다. 요소질소는 RC군이 다른 물리적 변성 쌀전분 섭취군에 비해 낮았으며, RU군과는 통계적으로 유의하게 낮았다. 사구체여과율(GFR)

<Table 9> GOT, GPT and total bilirubin in serum.¹⁾

	GOT (KA/dl)	GPT (KA/dl)	Total bilirubin (mg/dl)	BUN (mg/dl)
RC	121.3±34.7 ^{NS2)}	45.4±12.8 ^{NS}	0.36±0.23 ^{NS}	17.3±3.7 ^{ab3)}
RU	122.3±38.2	48.7±10.0	0.26±0.19	17.9±2.2 ^a
RH	105.4±16.1	35.8±5.4	0.17±0.21	14.4±3.0 ^b

1) Mean ±SD

2) NS: Not significant

3) Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

<Table 10> Total protein, albumin, albumin/globulin ratio(A/G), urea N and creatinine in serum

	Total protein (mg/dl)	Albumin	A/G	creatinine (mg/dl)
RC	6.25±0.82 ^{NS2)}	3.59±0.31 ^{NS}	1.51±0.52 ^{NS}	1.59±0.43 ^b
RU	6.45±1.19	3.95±0.38	2.37±2.34	1.26±0.26 ^a
RH	6.37±0.80	3.78±0.74	2.47±2.78	1.60±0.55 ^b

1) Mean ±SD

2) NS: Not significant

3) Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

<Table 11> Creatinine, urea N, gromerular filtration rate(GFR) in urine.¹⁾

	Creatinine (mg/dl)	Urea N (mg/dl)	GFR (ml/min)
RC	6.18±2.19 ^b	204.8±63.9 ^b	0.72±0.35 ^b
RU	9.81±3.01 ^a	340.0±111.8 ^a	1.32±0.46 ^a
RH	8.91±3.93 ^a	298.5±63.9 ^{ab}	0.92±0.31 ^b

- 1) Mean SD
- 2) Values with different superscripts are significantly different among groups at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

은 정상 범위이내였으며, RU군이 다른 식이 섭취군에 비해 유의하게 높았다.

IV. 고찰

성장기 동안 탄수화물 급원으로 물리적 변성 쌀 전분의 급여가 성장 및 장기의 생리적 기능에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구에서 일반 쌀전분, ultrasonic homogenizer와 hydrosher homogenizer로 균질화시킨 쌀전분을 생후 4주된 Sprague-Dawley중 흰쥐에게 4주간 공급하였다.

본 실험에서 물리적 변성 쌀 전분의 섭취는 체중 증가에는 영향을 주지 않았으나 간, 신장의 기관 성장을 촉진 시켰다. 물리적 변성 쌀전분은 이들 장기에서 RNA 합성의 증가와 이에 따른 단백질 합성을 유의하게 증가시켜 기관의 성장을 촉진시키는 것으로 나타났다. 각 실험군의 식이섭취량의 차이가 없었음에도 불구하고 성장기동안 물리적 변성 쌀전분의 4주간 섭취는 성장기에 있는 흰쥐의 기관성장을 촉진시키는 효과가 있었다. 간 조직의 성장에서 초음파 균질기로 처리한 쌀전분의 섭취는 간 무게를 증가시켰으며, 유체전단형 균질기로 처리한 쌀전분은 통계적으로 유의하지 않았으나 세포의 수보다 세포의 크기에 더 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구의 실험 종료일은 생후 50일경으로 이 시기는 흰쥐에 있어서 세포성장의 2번째 단계로 세포수의 증식이 점점 줄어들고 세포의 크기(cell size)가 커지는 시기이기 때문인 것으로 사료된다. 에너지 급원의 종류에 따른 성장의 차이는 섭취하는 영양

소의 소화 또는 흡수율에 의해 영향을 받으며, 전분의 소화율은 전분의 화학적 구조 및 전분의 노화속도에 의해 달라진다.¹³⁾ 화학적으로 변성시킨 전분의 생리적 기능은 여러 연구에서 보고된 바 있으며, 화학적으로 변성된 전분의 소화흡수율은 낮아지는 것으로 보고되고 있다.¹⁴⁾¹⁵⁾ 본 연구에서 식이 섭취량의 차이가 없었음에도 불구하고 물리적 변성 쌀전분의 장기 성장 촉진효과는 이들 전분의 소화율이 일반 쌀전분에 비해 높고, 물리적 변성 쌀전분은 화학적 변성 쌀전분과는 달리 소화율을 증가시키는 것으로 사료된다. 물리적 변성 쌀전분의 이화학적 특성을 조사한 결과 유체전단형 균질기로 처리한 쌀전분의 입자 크기가 가장 작은 것으로 측정되었다. 입자의 크기가 작을수록 표면적이 넓어져 장내 소화효소의 반응이 증가되어 영양밀도를 증가시킬 수 있음을 시사한다. Wursch 등은¹⁶⁾ 입자의 크기가 소화율에 영향을 준다고 보고하여 본 연구결과와도 부합된다. 그러나 본 연구에서 물리적 변성 쌀전분의 섭취가 체중증가 및 장기무게에 미치는 영향이 미미했던 것은 4주동안의 실험 식이의 공급이 효과를 나타내기에는 짧았던 것으로 사료되며, 앞으로 물리적 변성 쌀전분의 장기적인 섭취효과에 대한 연구가 필요하다.

장 기능을 관찰하기 위해 분변 배설량, 건조중량 및 수분함량, 장 통과시간, 장내 비피더스 균수를 측정된 결과 RH군에서 장통과 시간이 유의하게 길었다. 물리적 변성 쌀전분 섭취가 장 기능에 미치는 영향은 연구된 바 없고 본 연구에서 유체전단형 균질기에 의해 처리된 쌀전분이 일반 쌀전분에 비해 장기능을 개선시키는 효과가 있을 가능성을 처음으로 관찰하였다. RH군의 쌀전분의 장기 성장 촉진 효과로 미루어 유체전단형균질기에 의한 처리가 소화율을 증가시키는 것으로 판단되나 RH군의 장내 통과시간이 길어짐은 유체전단형 균질기로 변성시킨 쌀전분의 일부가 소화되지 않고 장내에 도달하면 오히려 장내 머무는 시간이 길어져 비피더스 균의 증식을 촉진시켜 장내의 균총 환경을 개선시켜 줄 가능성이 있으므로 사료된다. 전분은 위장관에서 거의 대부분 소화되는 것으로 알려져 왔지만 Anderson의 연구¹⁷⁾에 의하면 섭취하는 탄수화물의 8-20%는 소화되지 않고 대장에 도달하여 발효되는 것으로 보고한 바 있다. 비피더스균은 젖산(lactic

acid) 및 초산 등 많은 양의 유기산을 생산하여 이들 산에 예민한 유해성 균의 장관내 정착을 억제함으로써 설사 등 장 질환을 예방하고 항암, 혈압강하 등에 기여하여 숙주에 유익한 작용을 하는 것으로 보고되고 있다.¹⁸⁾¹⁹⁾ 비피더스 균은 인체에 미치는 좋은 영향으로 많은 연구의 대상이 되어왔으나 직접 섭취할 경우 소화기관을 통과하면서 위산, 소화효소, 담즙산 등에 의해 사멸할 가능성이 높기 때문에 장내의 비피더스균의 성장을 촉진시키는 유효소재의 개발이 활발하게 진행되었으며, 국내에서도 1986년부터 조제분유에 비피더스 촉진 인자를 첨가하고 있다.²⁰⁾²¹⁾ 배변량은 다음 세가지 요인에 의해 좌우되는 데 대장점막을 통해 수분을 흡수할 수 있는 시간, 섬유질의 결합정도, 대장내 세균의 양에 따라 좌우된다.²²⁾ 본 연구에서도 RH군의 장내 비피더스 균수가 가장 많았으며, 분변 배설량도 유의하지는 않으나 RH군이 비교적 많은 경향이였다. 따라서 본 연구결과 장 기능 개선 효과의 기능성을 갖춘 물리적 변성 쌀전분은 이유식의 주요 구성성분으로 활용될 수 있을 가능성을 시사한다.

물리적 변성 쌀전분의 간기능 성숙에 미치는 영향은 혈중 GOT, GPT 활성, 총빌리루빈함량 및 요소질소 함량으로 탐색하였다. 성장기 동물은 각종 장기의 기능이 성숙하는 시기이다. 각 실험군의 GOT, GPT 활성은 정상범위에 속하였다. 이는 실험동물이 섭취한 식이는 정상적인 동물 모델에서 사용되는 식이 성분으로 구성되었기 때문에 모든 실험동물이 정상적으로 성장하였던 것에 기인한다. 그러나 RH군의 GOT, GPT, 총 빌리루빈 함량이 다른 실험식이군에 비해 낮은 경향이이며 이는 유체전단기로 균질처리된 쌀전분의 섭취가 간기능의 성숙을 촉진시켰음을 시사한다. 혈중 요소 질소 함량은 RH군이 가장 낮았으며 RU군에 비해 통계적으로 유의하게 낮았다. 혈중 요소질소의 함량은 증가할수록 실험동물의 성장을 위한 단백질 이용능을 초과함을 의미하나 본 연구의 각 실험군의 혈중 요소 질소는 모두 정상 범위내에서 간 기능이 정상적이었다고 생각되며, 유체전단형 균질기로 균질화시킨 쌀전분의 섭취가 간기능의 성숙을 촉진시키며 동물의 단백질의 이용율을 증가시키는 것으로 사료된다.

신장기능의 하나의 지표로 혈액과 뇨 크레아티닌, 사구체 여과율(GFR)을 측정한 결과 혈중 크레아티

닌은 RU군이 유의하게 낮았으며 RH군, RC군과는 유사하였다. 사구체 여과율은 신기능의 지표로 신장이 성숙함과 더불어 증가하다 나이가 증가함에 따라 다시 감소하게 된다. GFR의 증가는 신장기능과 관련하여 노폐물의 배설 등 신장의 역할을 수행하기 위해 중요하다.²³⁾ 사구체 여과율은 RU군이 1.3ml/min으로 유의하게 높았으며, RH군, RC군 순으로 낮아졌다. 초음파 균질기로 처리한 쌀전분의 섭취는 BUN의 생성 및 뇨를 통한 배설을 증가시켜 RU군의 신장 기능이 가장 활발한 것으로 사료된다. 그러나 과도하게 사구체여과율이 증가하여 오랜시간 지속될수록 과여과로 인해 신장 기능 쇠퇴를 촉진하고 GFR의 감소시기를 앞 당길 가능성도 있다.²⁴⁾

V. 요약 및 결론

본 연구는 물리적으로 변성된 쌀전분의 생리적 기능성을 탐색하여 고부가 가치를 지닌이유식 신소재로서 개발하기 위해 수행되었다. 성장기 동물을 모델로 선택하여 초음파 균질기와 유체 전단 균질기로 물리적 변성시킨 쌀 전분을 4주동안 급여하여 성장 및 장기의 생리적 기능에 미치는 영향을 조사하였다. 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 각 실험식이군의 체중증가율과 식이효율은 차이가 없었으나, 물리적 변성 쌀전분 섭취군인 RU군의 간 무게와 RH군의 신장 조직내 RNA 함량, 단백질 함량이 유의하게 높았으며($p<0.05$), 세포의 크기도 비교적 큰 경향이였다.

2. 유체전단기로 균질처리된 쌀전분의 섭취는 장 통과 시간을 유의하게 연장시켰으며($p<0.05$), 장내 비피더스 균수도 유의하게 증가시켜 장 기능을 개선시키는 것으로 나타났다. $(p<0.05)$

3. 혈청 GOT, GPT, 총 빌리루빈함량은 각 실험군에서 모두 정상 범위내 었으며, RH군에서 가장 낮은 경향이였다. 요소질소 함량은 RH군이 다른 실험식이군에 비해 유의하게 낮아 간 기능의 성숙도가 가장 높았다. $(p<0.05)$

4. 뇨중 요소질소, 크레아티닌 함량, 사구체여과율을 조사하여 신장기능의 차이를 알아보았다. 뇨중 크레아티닌 함량은 RU군과 RH군에서 유의하게 높았다. $(p<0.05)$ 요소질소 배설량과 사구체 여과율은

RU군에서 가장 높아($p<0.05$) 신장 기능의 성숙도가 가장 높은 것으로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 유체전단형 균질기로 물리적 변성을 유도한 쌀전분의 섭취는 장기능의 개선, 장기 조직의 성장 및 간기능의 성숙을 촉진시키는 효과가 있으며, 초음파 균질기로 변성시킨 쌀전분은 신장기능의 성숙을 촉진시켜 기능성이 향상되는 것으로 사료된다.

■ 참고문헌

- 1) Korea Rural Economics Institute, Food balance Sheet, 2002.
- 2) Lee JS, Kim ES. Study on infant feeding practice in Sockcho-City, Kor J Nutr 24: 469-476, 1991.
- 3) Bae HS, Ahn HS. Solid foods intake pattern during the first 6 months of life. Kor J Comm Nutr 1: 335-345, 1996.
- 4) Wang SK, Kim JH. A study on infant feeding and weaning practice in Taejon, Kor J Comm Nutr 4: 489-495, 1999.
- 5) Song Ys. The present status of infant feeding in Korea and suggestions for its improvement. Kor J Nutr 4: 282-291, 1991.
- 6) Oh SJ, Kim WK, Kim YH, Kim HY, Choi EH, Kim SH. Effect of fructooligosaccharide on lipid metabolism in hypercholesterolemic rat. Kor J Nutr 32: 129-136, 1999.
- 7) Shngertzahn MA, Teichberg S, Wapnir RA. Modified starch enhances absorption and accelerates recovery in experimental diarrhea. Pediatr Res 45: 397-402, 1999.
- 8) Kim SH, Yu CH, Kim SH, Lee SS, Kang MH, Chang NS. Nutrition for the family. Shinkwang Pub, 2000
- 9) Heanton JM, Lennard-Jones JE, Young AC. A new method for studying gut transit times using radiopaque markers. Gut 10: 842.
- 10) Burton K. A study of conditions and mechanism of the diphenylamin reaction for the colorimetric estimation of deoxyribonucleic acid. Biochem J 62: 315-323, 1956.
- 11) Schmidt G, Thannhauser SJ. A method for the determination of deoxyribonucleic acid, ribonucleic acid and phosphoproteins in animal tissue. J Biol Chem 161: 83-89, 1945.
- 12) Lowery OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the folin phenol reagent. J Biol Chem 193: 265-275, 1951.
- 13) Krog N, Olessen SK, Toemaes H, Joensson T. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. Cereal Foods World 34: 281, 1989.
- 14) Kim SY, Lee SR. In vitro digestibility of chemically modified starches and ramen starches. Kor J Food Sci Techno. 26: 475-478, 1994.
- 15) Gunnarsson A, Bjork I, Ostergard K. A study of native and chemically modified potato starch II. Starch/Starke 40: 58-, 1988.
- 16) Wursch P, del Vedovo S, Kroellreullter B. Cell structure and starch nature as key determinatnt of the digestion rate of starch in legumes. Am J Clin Nutr 43: 25-59, 1986.
- 17) Anderson IH, Levine AS, Levitt MD. Incomplete absorption of the carbohydrate in all-purpose wheat flour. New Eng J Med 304: 891-892, 1981.
- 18) Modler HW, Mckeller RC, Yaguchi M. *Bifidobacteria* and bifidogenic factors. Can Inst Food Sci Technol J 23: 29-41, 1990.
- 19) Mitsuoka T. *Bifidobacteria* and their role in human health. J Ind Microbiol 6: 262-259, 1990.
- 20) Heo KT. Oligosaccharides-The leader of functional foods. YouHan Pres, Seoul, 73-76, 1992.
- 21) Seo JH. Internal trends in research and development of oligosaccharides. Food Science and Industry 27: 8-11, 1992.
- 22) Eastwood MA. The physiological effect of dietary fiber. An update. Ann Rev Nutr 1: 19-35, 1992.
- 23) Brenner BM, Meyer TW., Hostetter TH. Dietary protein intake and progressive nature of kidney disease. N Eng J Med 307: 652-659, 1982.
- 24) Meyer TW. Anderson S. Dietary protein intake and progressive glomerulosclerosis: The role of capillary hypertension and hyperfusion in progression of renal disease. Ann Int Med 98: 832-838, 1983.