한국식생활문화학회지 22(5): 645 - 651, 2007
KOREAN J. FOOD CULTURE 22(5): 645 - 651, 2007

초미세 분쇄 쌀전분의 섭취가 성장기 Sprague-Dawley 흰쥐의 성장 및 장세포 발달에 미치는 영향+

박진희[1] · 김명환[2] · 장문정[1]*
[1]국민대학교 식품영양학과, [2]단국대학교 식품공학과

The Effect of Dietary Ultra Finely Pulverized Rice Starch on Growth Performance and Development of Small Intestine

Jin-Hee Park[1], Myung-Hwan Kim[2], Moon-Jeong Chang[1]*
[1]*Department of Foods & Nutrition, Kookmin University*
[2]*Department of Food Engineering, Dankook University*

Abstract

Male weanling Sprague Dawley rats were used to evaluate the effect of dietary rice starch with different particle size on growth performance, intestinal function and proliferation. There were two dietary treatment: rice starch (RS), ultra finely pulverized rice starch with less than 15μm size (PRS). They were eight rats per treatment. In vitro digestibility, body weight change and organs weight were evaluated. Serum GPT, GOT and blood urea nitrogen were analyzed. Transit time, short chain fatty acid contents of cecum, and cell proliferation of duodenum and jejunum were measured. In vitro digestibility of PRS was higher than that of RS. Rats fed ultra finely pulverized rice starch for 3 weeks grew faster than rats fed rice starch. PRS group has higher weights of liver, kidney, spleen and epididymal fat pad, perhaps as a result of increased digestibility. GPT and GOT were not different between two groups. Blood urea nitrogen was higher in RS-fed rats than that of PRS-fed rats. Feeding ultra finely pulverized rice starch resulted in a proliferation of duodenum significantly. These results suggest that ultra finely pulverized rice starch increases the growth performance in weanling animals with reduced number of cells in the cell cycle of small intestine.

Key Words : ultra finely pulverized rice starch, growth performance, gut function

I. 서 론

전분은 사람과 동물의 주요 영양소 이며, 우리가 섭취하는 식사로부터 나오는 총에너지의 40-80%를 차지하는 주요 성분이다. 일반적으로 전분은 거의 완전히 소화되는 성분으로 알려져 있으나 인체를 대상으로 한 여러 연구에서 전분의 일부는 소장에서 완전히 소화되지 않고 대장에서 발효된다고 보고되었다(Englyst & Cummings 1985; Berry 1986). 전분의 소화는 섭취하는 전분의 양, 전분의 종류에 따라 달라져 Stephen등은 혼합식 형태로 전분 섭취시 2-20%의 전분이 소화되지 않았다고 보고하였으며(Stephen 등 1983), Carré 등은 효소를 첨가하였을 때에도 전분이 완전히 소화되지 않았다고 보고하고 있다(Carré 등 2002).

성인에서 저항전분, 식이섬유, 올리고당과 같은 소화되지 않는 탄수화물의 섭취는 건강에 유익한 효과가 있으나, 18개월 이전의 유아에서는 소화효소의 활성이 완전히 발달되지 않았기 때문에 효율적인 소화가 이유식을 섭취하는 유아에서는 매우 중요하다(COMA 1994). 유아의 성장이 주춤하는 것이 보충식의 시작과 일치하며 이는 주로 보충식의 잘못된 공급방법, 영양소 이용효율의 저하, 그리고 위장관 감염으로 인하며. 보충식 또는 이유식의 영양가 개선이 이유식을 시작하는 유아의 영양불량을 감소시킬 수 있는 데 도움이 된다고 보고된 바 있다(Stephen 2002). 또한 이유 초기 유아의 소화관 발달이 미숙하기 때문에 섭취하는 이유식에 완전히 적응하는 기간이 필요하다(Aumaitre 등 1995).

곡류 전분은 영유아용 식품, 환자용 식품, 운동선수용 영양보충 식품등 특수용도용 식품이나 소프트 드링크, 기타 액상 식품의 탄수화물 급원으로 많이 사용되고 있으며, 이 경우 주로 분자량이 아주 낮은 단당류, 또는 이당류인 포도당, 과당, 서당, 포도당 폴리머, 젖당 등이 널리 사용되어

* Corresponding Author : Moon-Jeong Chang, Department of Foods and Nutrition, Kookmin University, 861-1 Chongnung-dong, Songbuk-gu, Seoul, 136-702, Korea
Tel:82-2-910-4776 Fax:82-2-910-5249 E-mail : cmoon@kookmin.ac.kr

왔다. 그러나 이렇게 작은 분자량 형태의 탄수화물은 섭취 시 삼투압을 유발하여 위장관에서 설사와 복통, 복부 팽만감 같은 문제점을 유발한다.

위장관에 부정적인 영향을 주지 않으면서 곡류 전분의 영양가는 다양한 방법에 의해 개선될 수 있다. 전분의 가열처리가 이유기 돼지에서 식이효율을 증가시키고, 성장을 촉진시켰다는 보고(Medel 등 1998)가 있으며, 입자의 크기를 감소시켜 소화효소가 작용할 수 있는 비표면적을 증가시킴으로서 소화효율을 증진시켜 식이 효율을 증가시킬 수 있다는 보고도 있다(Patridge 등 1993). 지금까지 전분의 입자를 감소시키는 가공은 ball 또는 pin mill 등을 이용하여 수십 micron 이상의 단위로 분쇄하였으나 최근 ultra fine pulverizer를 이용한 초미세 분쇄시스템을 이용하여 10 micron 내외의 크기로 초미세 분쇄가 가능하나 초미세 분쇄한 전분의 섭취효과를 본 연구는 없는 실정이다.

본 연구는 쌀전분과 15 ㎛ 미만의 크기로 초미세 분쇄시킨 쌀 전분의 섭취가 이유기 동물의 영양소 소화율, 성장발육 및 장세포의 형태적 발달에 미치는 영향을 구명하여 이유식 및 특별 용도용 기능성 식품으로서의 사용가능성을 탐색하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 쌀전분의 가공 제조

쌀전분의 분리는 2005년도 당진에서 생산, 수확한 쌀(*Oryza sativa L.*)을 구입하여 탈이온수로 8시간 침지시킨 후 0.2%(w/v)의 NaOH 용액에 1:2의 비율로 담가 2분 동안 분쇄하였다. 쌀 현탁액을 100 mesh의 filter로 거른 후 4℃에서 24시간 방치한 뒤 상등액을 제거하고 단백질이 완전히 제거될 때 까지 이 과정을 반복하였다. 침전물을 pH 7.0이 될 때 까지 탈이온수로 세척하여 전분(rice starch, RS)을 분리하였다. 전분을 진동동결 건조기로 5% 수분함량(wet basis)이 될 때 까지 건조시킨 후 분리된 쌀전분을 11 mm와 5 mm ziloconium oxide 250 g 이 들어있는 용기에 넣고 high impact planetary mill(Pulverisette 6, Fritsch Co., Germany)로 30분간 300 rpm으로 분쇄시켰다. 평균 쌀전분의 직경이 15.35 ㎛~11.88 ㎛의 크기로 감소되었으며, 표면적은 19,47024,233 cm^2/g 으로 증가하였다. 초미세 분쇄시킨 전분(ultra finely pulverized rice starch, PRS)을 나노용 분급기를 이용하여 입자크기가 15 ㎛ 미만인 것을 분류하여 실험식이 제조에 사용하였다.

2. 실험동물의 사육과 실험식이

4주령 된 (평균 체중 90.7 g) Sprague-Dawley 종 수컷 흰쥐 (대한실험동물센터) 16 마리를 난괴법에 의하여 2군으로 나누어 섭취하는 전분의 가공처리를 달리한 2종의 실험식이를 3주동안 급여하였다. 실험군은 일반 쌀전분 섭취 대조군(rice starch control, RS군), 초미세 분쇄 쌀전분 섭취군(PRS)의 2군으로 하였다. 실험식이의 자세한 조성은 〈Table 1〉과 같다. 실험동물은 stainless cage에 한 마리씩 분리 사육하였으며 사육실의 환경은 온도 21±2℃, 상대습도(60±5%). 명암은 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. 식이효율(food efficiency ratio: FER)은 매주별 체중증가량을 같은 기간 동안 섭취한 식이섭취량으로 나누어 산출하였다.

<Table 1> Composition of experimental diets (g/kg diet)

Ingredients	RS[1)]	PRS
starch	529.486	529.486
sucrose	100.00	100.00
casein	200.000	200.000
soybean oil	70.000	70.000
cellulose	50.000	50.000
mineral misture 93G[2)]	35.000	35.000
vitamin mixture93G[3)]	10.000	10.000
choline bitartrate(41.1% choline)	2.500	2.500
tert-butylhydroquinone	0.014	0.014

1) RS: rice starch, PRS: ultra finely pulverized rice starch

2) 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

3) 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 B_{12}(cyanocobalamin) 2.500 : Vitamin E(all-rac-α-tocopheryl acetate, 500IU/g) 15.000 : Vitamin A(all-trans-retinyl palmitate, 500,000IU/g) 0.800: Vitamin D_3(cholecalciferol, 400,000IU/g) 0.250 : Vitamin K9phylloquinone) 0.075 : Powdered sucrose 974.655

$$\text{식이효율 (FER)} = \frac{\text{각 1주간의 체중증가량(g)}}{\text{각 1주간의 식이 섭취량(g)}}$$

3. 장통과시간(transit time)

실험식이 섭취후 3주 째 장통과시간을 측정하였다. 실험동물을 15시간 절식시킨 후 설탕 50%, carmin red(sigma, USA)0.5%가 혼합된 식이를 10 g 주어 이를

다 먹도록 한 다음 실험식이를 같은 시간에 넣어주었다. 일정시간 간격(20분)으로 변중에 marker가 나타나는 지를 check 하여 marker를 급여하기 시작한 시간과 marker가 변중에 처음 나타나기 시작한 시간 간격을 기록하여 이를 장통과시간이라 하였다.

4. 실험동물의 희생 및 시료채취

사육기간이 끝난 실험동물을 16시간 절식시킨 후 단두하여 혈액을 채취하였으며 3,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 혈청을 채취한 후 분석 전까지 -50℃에서 냉동보관하였다. 간, 신장, 부고환지방과 맹장은 채취하여 생리식염수로 세척하고 여과지로 물기를 제거하고 중량을 측정하였다. 소장은 채취한 후 길이를 측정하고, 소장안의 내용물을 생리적 식염수로 제거한 후 여과지로 물기를 제거하고 중량을 측정하였다. 소장의 십이지장과 공장의 일부분은 소장세포 증식 실험에 사용하였다. 혈청은 생화학적인 분석 전 까지 -50℃에서 냉동 보관하였다.

5. 소장세포 증식실험

실험동물을 희생하기 1시간 전에 체중 kg 당 5 mg의 5-bromo-2' deoxyuridine(BrdU)을 phosphate buffer saline(PBS, pH 7.4)에 녹여 복강 주사하였다(Schutte 등 1987). 실험동물의 희생 후 소장은 균등하게 3등분하여 자른 후 위문부 괄약근 시작점부터 5cm에 해당하는 부위(십이지장)와 3등분중 중간부위의 시작점부터 5cm에 해당하는 부위(공장)를 잘라내어 통상적인 paraffin block을 만들었고 monoclonal anti-BrdU antibody, peroxidase를 붙인 anti-mouse antibody 와 diaminobenzidine을 이용한 면역조직학적 방법으로 염색하였다. 십이지장과 공장 상피세포의 proliferation index로 total cell number, labelled cell의 수, labeling index를 구하였다. 십이지장과 공장 상피세포의 형태학적 발달은 double blind 방식으로 병리조직학 전문가에 의하여 판정되었다.

6. 혈액의 분석

혈청 중 간기능을 나타내는 지표인 GOT, GPT와 혈중 요소질소는 효소법을 이용한 kit(소망제약(주))로 측정하였다.

7. In vitro 전분 소화율

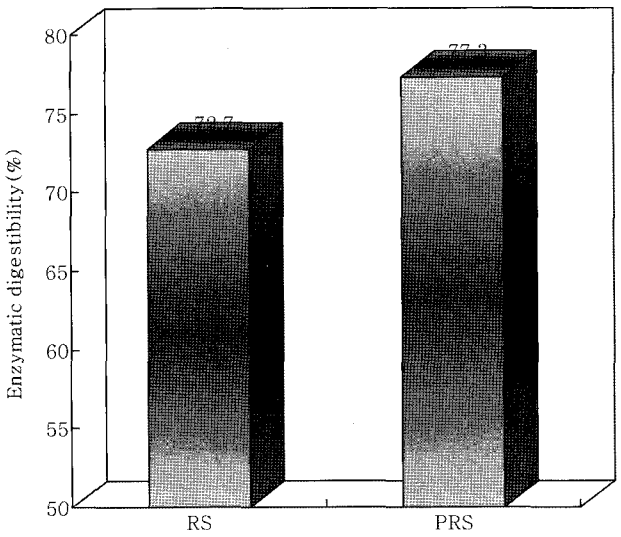
α-amylase 에 의한 쌀전분의 In vitro 소화율을 Liu 등의 방법에 따라 측정하였다(Liu 등 1999). 약 1 g 의 시료에 30 mℓ의 phosphate buffer (0.2M, pH 6.9)를 시험관에 넣고 약 95℃ 수조에서 30분간 방치하였다. 25℃에서 냉각한 후 α amylase(320 unit, Sigma Co., USA)를 첨가한 후 30℃에서 14시간동안 배양하였다. 배양 후 소화되지 않은 시료는 원심분리에 의해 제거하고 gravimetric 방법에 의해 분석하였다.

8. 자료의 처리 및 분석

본연구의 모든 실험결과는 SPSS 12.0 for windows package를 이용하여 각 실험군의 평균과 표준편차를 구하고 각 실험군의 평균의 비교는 독립적인 t-검정에 의해 유의수준 α=0.05에서 통계적 유의성을 검정하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. In vitro 전분 소화율



<Figure 1> Enzymatic digestibility of rice starch (RS) and ultra pulverized rice starch (PRS)

α-amylase에 의한 쌀전분과 초미세 분쇄 쌀전분의 소화율은 〈Figure 1〉과 같다. 전분 소화율은 전분의 급원, 입자의 크기, amylose/amylopection 비율, amylose 사슬 길이, 결정형성정도등에 의해 영향을 받는다(Jenkins 등 1981; Hoebler 등 1999; Svihus 등 2005). 쌀전분의 소화율은 72.7%로 초미세 분쇄 쌀전분의 소화율 77.3%에 비해 유의적으로 낮았다. 이는 쌀 전분을 초미세 분쇄후 대부분의 결정형은 비결정형 상태로 변화하였고, 평균 입자 크기 감소와 입자의 비표면적의 증가가 소화효소에 의한 가수분해 효율을 향상시켰기 때문이다(Patridge & Gill 1993). 전분의 일부는 소장에서 소화, 흡수되지 않고 대장에 소화되지 않은 채 도달한다. 통곡식류, 호화되지 않은 전분입자, 생감자 전분과 같이 B-type x 선 회절을 갖는 전분, 노화된 전분, 아밀로오스와 아밀로펙틴은 α-amylase에 의해 가수 분해되지 않아 소화되지 않은 채 대장으로 유입되어 소화흡수율을 감소시키는 데(Englyst & Cummings 1985; Englyst & Cummings 1999), 본 연구에서 15 ㎛미만의 크기로 입자의 크기를 감소시킬 경우 소화흡수율을 증가시켜 대사에너지를 증가시킬 수 있었다.

2. 성장과 식이섭취량

실험동물의 체중 변화는 〈Table 2〉와 같다. 본 연구는 성장기에 초미세 분쇄기로 분쇄하여 15 ㎛ 내외의 입자크기를 갖는 쌀전분을 섭취할 때 생리적인 기능에 미치는 영향을 알아보고자 하는 것으로 실험식이 시작 시 실험동물의 평균체중은 약 90 g으로 두 군 간의 차이가 없었다. 실험식이 3주 섭취 후 체중은 초미세 분쇄 쌀전분 섭취군(PRS군)에서 유의하게 높았다. 체중증가량은 통계적으로 유의하지 않았으나(p=0.12)로 초미세 분쇄 쌀전분 섭취군(PRS군)에서 높은 경향이었다. 장기의 무게는 〈Table 3〉에 제시된 바와 같이 각 실험군 간의 유의적인 차이가 없었다. 그러나 간, 신장, 비장, 부고환지방의 무게도 초미세의 크기로 분쇄시킨 PRS군에서 RS군에 비해 높은 경향이었다(신장 무게 p=0.08, 비장 무게 p=0.08)

〈Table 4〉에 제시된 바와 같이 식이효율은 두 실험군간의 유의적인 차이가 없었으나 초미세 분쇄 쌀전분 섭취군에서 섭취 1주와 2주 동안 식이효율이 높은 경향이었다. 초미세 분쇄로 인한 입자 크기의 감소는 이유기에 있는 실험동물의 성장을 촉진시키는 결과를 유도하였으며 이 효과는 이유 첫 2주 동안 더 큰 경향이었다. 탄수화물 급원에 따른 성장의 차이는 탄수화물의 소화 흡수율에 의해 달라지는 데 Chang & Kim(Chang & Kim 2003)은 물리적으로 변성시킨 쌀전분이 소화율을 증가시켜 장기 성장 촉진 및 체중을 증가시켰다고 보고하여 본 실험결과와 유사하였다. Medle 등(Medel 등 1999)의 연구에서도 조기 이유한 돼지에서 곡류입자의 크기의 감소는 첫 2주간 성장능력의 개선을 유도하였다고 보고하였으며, Würsch 등(Würsch 등 1986)도 입자의 크기가 소화율에 영향을 준다고 보고하여, 본 연구결과는 이 결과들과도 부합하였다. 입자 크기의 감소는 소화효소에 접하는 표면적을 증가시켜 소화율을 증가시킨다고 보고되었으며, 본 연구에서도 in vitro 실험에서 초미세 분쇄 쌀전분의 소화율이 일반 쌀전분의 소화율에 비해 유의하게 높았다〈Figure 1〉. 전분의 소화율은 전분의 화학적 구조 및 전분의 노화속도에 의해 달라진다(Krog 등 1989). 일반적으로 화학적으로 변성된 전분의 소화흡수율은 낮아지는 것으로 보고되고 있으나(Kim & Lee 1994; Björck 1989), 본 연구에서 초미세 분쇄기로 전분 입자의 크기를 15㎛ 미만으로 감소시킨 것은 장내 소화효소와의 반응을 증가시켜 영양밀도의 증가시킬 수 있었다. Vestergaard 등(Vestergaard 등 1999)은 생전분의 입자를 ㎛단위로 미세화시켰을 때 전분을 호화시키는 것과 유사한 정도로 소화율이 증가되었다고 보고하였다. 본 실험에 사용된 실험동물은 섭취하는 에너지 급원의 종류에 따른 영양소의 소화 또는 흡수율에 의해 성장이 영향을 받는 시기로 초미세 분쇄 전분의 섭취가 체중증가에 유의적인 영향을 주었으며, 이는 전분의 초미세 분쇄로 인한 소화율 증가에 기인하였다고 볼 수 있다. Wiseman도 전분소화율과 대사 가능한 에너지(metaolizable energy)와 유의적인 양의 상관관계가 있다고 보고한 바 있다(Wiseman 2006).

<Table 2> Initial body weight, final weight and weight gain in experimental groups

Group	Initial weight	Final weight	weight gain
		g	
RS	90.2 ± 2.3[1)NS2)]	223.6 ± 5.4	133.4 ± 5.8[NS]
PRS	91.0 ± 3.0	241.1 ± 5.5[*3)]	150.0 ± 8.0

1) Mean±SD
2) NS: not significant
3) *Significant at p<0.05 for n=8 per group

<Table 3> The weight of liver, kidney, spleen and epididymal fat pad in experimental groups

Group	liver	kidney	spleen	Epididymal fat pad
		g		
RS	7.08 ± 0.24[1)NS2)]	1.80 ± 0.04	0.50±0.05	2.50 ± 0.20
PRS	7.54 ± 0.22	1.96 ± 0.07	0.56±0.07	2.63 ± 0.30

1) Mean±SD
2) NS : not significant

<Table 4> Weekly food efficiency ratio in experimental groups

Group	1st week	2nd week	3rd week
RS	0.45 ± 0.07[1)NS2)]	0.43 ± 0.04[NS]	0.34 ± 0.03[NS]
PRS	0.48 ± 0.11	0.45 ± 0.05	0.34 ± 0.03

1) Mean±SD
2) NS: not significant

3. 간기능

15㎛ 미만의 크기의 초미세화로 입자의 크기를 감소시킨 쌀전분이 간 기능 성숙에 미치는 영향은 혈중 GOT, GPT 활성 및 요소 질소 함량으로 탐색하였다. 혈중 GOT, GPT 활성은 각 실험군에서 정상범위였으며 두 군 간의 유의적인 차이가 없었다(Table 5). 이는 실험식이가 정상적인 동물 모델에서 사용되는 식이 성분이었으며, 모든 실험동물이 정상적으로 성장하였던 것에 기인한다. 간기능 성숙을 나타내 주는 혈중 요소 질소(Blood urea nitrogen, BUN)는 RS군에 비해 PRS군에서 통계적으로 유의하게 높았다. BUN의 함량은 증가할 수록 실험동물이 성장을 위

<Table 5> GOT, GPT and blood urea nitrogen of serum in experimental groups

Group	GOT (KA/㎖)	GPT (KA/㎖)	BUN (mg/dℓ)
RS	37 ± 0.4[1)NS2)]	11 ± 0.5	8.7 ± 0.8[*3)]
PRS	38 ± 0.9	10 ± 0.7	6.8 ± 0.4

1) Mean±SD
2) NS: not significant
3) *Significant at p<0.05 for n=8 per group

한 단백질 이용능을 초과함을 의미하나 본 연구에서 각 실험군의 BUN의 농도는 정상범위(5~25 mg/dℓ)이내 여서 간기능의 정상적이었던 것으로 판단된다. 그러나, PRS군의 BUN값이 RS군에 비해 유의하게 낮은 것은 이유 후 급성장기에 초미세분쇄 쌀전분의 섭취가 간기능을 성숙을 촉진시키며 동물의 단백질 이용률을 증가시킨다고 볼 수 있다.

4. 소장 무게, 길이 및 장내 발효

초미세 분쇄한 쌀전분의 섭취가 장기능에 미치는 효과는 〈Table 6〉에서와 같이 각 실험군에서 장 통과 시간은 722.1~756.2분으로 두 실험군간의 유의적인 차이가 나타나지 않았으며 소장의 길이, 소장의 무게. 맹장 내용물의 무게도 유의적인 차이가 없었다. 맹장내용물의 발효는 단쇄지방산의 농도로 제시하였다. 〈Table 7〉에 나타난 바와 같이 맹장내 단쇄지방산의 함량은 각 실험군에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 섭취한 전분의 일부는 소화기관내에서 소화되지 않고 대장으로 유입된 후 발효하여 단쇄지방산으로 분해되는 데, 미생물에 의한 탄수화물의 발효는 병원체에 의한 감염이나 설사를 예방하는 데 필요하다(Williams 등 2001). 선행연구(Brunsgaard 등 1995)에서 소화되지 않은 전분(저항전분)의 발효는 장기능이 성숙하면서 증가한다고 하였는데 본 연구에서는 섭취한 쌀 전분입자의 크기에 의한 장내 발효의 차이가 나타타지 않았다. 대장에서 소화되지 않은 성분의 발효는 대장내로 유입되는 소화되지 않은 물질의 양, 구성성분, 장내 머무르는 시간에 적응하는 장내 미생물의 대사 활동에 의존하는 데(Le Blay 등 1999), 본 연구에서 소화율의 차이가 있었음에도 불구하고 두 실험군간의 단쇄지방산의 농도에 차이가 없었음은 사용된 실험동물이 장세포가 활발히 발달하는 시기이고 장내 미생물의 형성되는 시기여서 장내 미생물 균총의 형성이 완성되지 않았던 결과에 기인할 가능성이 있다.

소장세포의 증식은 총세포수와 BrdU로 증식하는 세포를 염색하였을 때 염색된 세포의 수와 proliferation zone에서의 labelling index로 보았다. 〈Table 8〉에 서와 같이 십이지장에서 총세포수와 BrdU로 표지된 세포의 수는 유의적인 차이가 없었으나 proliferation zone에서 BrdU로 표지된 지수는 PRS군에서 유의적으로 낮았다. 공장에서는 총세포수, BrdU로 표지된 세포수, proliferation zone에서의 labelling index는 유의적인 차이가 없었다. BrdU는 분열하는 세포의 S phase때 DNA로 들어간다. 따라서 BrdU로 표지된 세포의 분포는 세포의 증식 잠재력(proliferation potential)과 상관관계가 있어 세포 증식이 빠른 세포에서 BrdU로 표지된 세포의 수가 유의하게 증가한다(Yanai 등 1996). 장은 세포 교체율(turnover)과 지속적인 세포재생이 빠르기 때문에 장점막의 세포는 영양상태, 섭취하는 식이성분의 영향을 받으며, 특히, 적절한 장구조 형성 및 기능의 유지는 장세포가 장으로 유입되는 식이 성분의 변화에 적응하는 정도에 의해 영향을 받게 된다(Reville 1991). 본 연구에서 초미세 입자크기로 분쇄시킨 쌀전분 섭취군의 십이지장 세포 증식능력은 RS군에 비해 유의하게 낮아 이는 입자의 크기 감소는 장세포 발달을 유도하는 능력이 낮음을 나타내었다. 그러나 장세포 증식이 낮았음에도 불구하고 PRS군의 성장능력이 RS군에 비해 높았다. 생쥐를 포함한 설치류와 대부분의 잡식성 동물, 사람은 출생초기에 위, 소장, 대장의 발달이 미숙하여 사람은 출생 직전과 출생후 2개월에서 5개월에 빠른 성장을 보이며, 설치류는 생후 18-22일에 빠른 위와 장의 성숙이 일어난다(Sangild 2006). 이 시기에 섭취하는 식사의 구성성분은 위와 장의 세포 증식 반응, 내분비발달, 미생물군의 형성, 면역기능에 영향을 준다(Grand 등 1976; Zabielski

<Table 6> Gatrointestinal transit time, weights and lengths of small intestine in experimental groups

Group	Gastrointestinal transit time (min.)	Small intestine length (cm)	Small intestine weight (g)	Cecum weight (g)
RS	756.2 ± 60.2[1)NS2)]	116.3 ± 1.8[NS]	6.1 ± 0.6[NS]	1.25±0.16[NS]
PRS	722.1 ± 82.1	118.7 ± 1.9	5.6 ± 0.2	1.10±0.30

1) Mean±SD
2) NS: not significant

<Table 7> Short chain fatty acid concentrations in the cecum of experimental groups

Group	acetate	propionate	butyrate	total SCFA
		μmol/g cecum		
RS	0.35 ± 0.08[1)NS2)]	0.30 ± 0.09[NS]	0.34 ± 0.11[NS]	0.98 ± 0.23[NS]
PRS	0.37 ± 0.13	0.29 ± 0.08	0.35 ± 0.11	1.01 ± 0.26

1) Mean±SD
2) NS: not significant

<Table 8> Proliferation of small intestine in experimental groups

Group	Duodenum			Jejunum		
	Total cell number (cells)	Labelled cell (cells)	Labeling index (%)	Total cell number (cells)	Labelled cell (cells)	Labeling index (%)
RC	299.3± 86.9[1)]	93.4±26.6[NS)3)]	27.6 ± 9.2	379.1±234.1	95.3±29.4	24.4±11.4
PRS	329.8± 98.1	92.9±15.3	18.9 ± 4.4*	290.6± 91.6	85.5±22.4	23.5± 5.6

1) Mean±SD
2) *Significant at $p<0.05$ for n=8 per group
3) NS: not significant

1999). 본 연구에서 사용된 실험동물은 이유초기로 장기능이 미숙한 시기였으며 이 시기에 섭취하는 전분의 입자 크기 감소는 장기능이 미숙할 때 소화흡수율 및 영양밀도를 개선하여 성장을 촉진시킬 수 있었다. 따라서 이유식을 처음 시도하는 영아기에 입자의 크기를 ㎛ 단위로 초미세화시킨 곡류를 사용할 경우 장기능이 미숙한 영아에서 설사와 같은 부작용을 억제하고, 성장을 촉진시킬 수 있으며, 장기능이 감소된 노인식에도 사용될 경우 영양개선의 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 pulverizer를 이용하여 15 ㎛미만의 크기로 초미세 분쇄한 쌀전분의 섭취가 성장능력, 장기능에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 생후 28일된 실험동물을 구입하여 탄수화물 급원으로 초미세 분쇄 쌀전분으로 제조한 식이로 3주간 사육하여 성장시킨 후 실험한 결과는 다음과 같다.

최종 체중 및 체중증가량은 PRS군에서 RS군에 비해 유의하게 높았고, 식이효율은 실험식이 섭취 첫 1주와 2주에 PRS군에서 높은 경향이었다. 간, 신장, 비장, 부고환지방의 무게는 유의적이지는 않으나 PRS군에서 증가하였다. PRS의 in vitro 소화율이 RS에 비해 유의하게 높았다. 간기능은 두 군간의 차이가 없었으나 혈중 요소질소는 RS군이 유의하게 높았다. 장통과시간은 PRS군에서 감소하는 경향을 보였으며, 단쇄지방산 농도, 소장의 길이, 소장의 무게 등은 차이가 없었다. PRS 섭취시 십이지장에서 BrdU 지수가 유의하게 감소하였으며, 공장에서는 유의적인 차이가 없었다. 따라서 초미세 분쇄로 입자의 크기를 감소시킨 쌀전분의 섭취는 장세포의 발달이 미숙한 이유기 및 급성장기에서 소화흡수율의 증가를 통한 성장 촉진의 효과가 있음을 알 수 있었다. 이 연구결과를 통해 주요 탄수화물 급원으로 섭취되고 있는 쌀전분을 초미세 분쇄시켰을 때 이를 이용하여 제조한 이유식, 환자식, 특수 영양식은 장기능이 미숙한 영아의 성장을 촉진시키며, 나아가 장질환자나 장기능이 퇴화되는 노인의 소화흡수를 촉진시켜 영양상태를 개선시키는 데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 수행된 연구로 이에 감사드립니다(KRF-2004-042-F00018).

■ 참고문헌

Aumaitre A, Peiniau J, Madec F. 1995. Digestive adaptation after weaning and nutritional consequences in the piglet. Pig News Inf. 16: 73N-79N

Berry CS 1986. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. J. Cereal Sci. 4: 301-314

Björck I, Gunnarsson A, Østergard K. 1989. A study of native and chemically modified potato starch II. : Digestibility in the rat intestinal tract. Starch-Stärke 41: 128-134

Brunsgaard G, Bach-Knudsen KE, Eggum BO. 1995. The influence of the period of adaptation on the digestibility of diets containing different types of indigestible polysaccharides in rats. Br. J. Nutr. 74: 833-848

Carré B, Idi A, Maisonnier S, Melcion J-P, Oury F-X, Gomez J, Pluchard P. 2002. Relationships between digestibilities of food components and characteristics of wheats (*Triticum aestivum*) introduced as the only cereal source in a broiler diet. Br. Poultry Sci. 43: 404-415

Chang MJ, Kim MH. 2003. Comparative growth performance and physiological function of physically modified rice starch and gelatinized rice starch in growing rats. Kor. J. Food Cult. 18: 592-600

COMA Committee on Medical Aspects of Food Policy. 1994. Weaning and the weaning diet. Rep. Health Soc. Subj. 45 : 1-113

Englyst HN, Cummings JH, 1985 Digestion of the polysaccharides of some cereal foods in the human small intestine. Am. J. Clin. Nutr. 42: 778-787

Englyst HN. Cummings JH. 1990. Non-starch polysaccharides (dietary fibre) and resistant starch. Adv. Exp. Med. Biol. 270: 205-225

Grand RJ, Watkins JB, Torti FM. 1976. Development of the human gastrointestinal tract: a review. Gastroenterology 70: 790-810

Hoebler C, Karinthi A, Chiron H, Champ M, Barry JL. 1999. Bioavailability of starch in bread rich in amylose: metabolic responses in healthy subjects and starch structure. Eur. J. Clin. Nutr. 53: 360-366

Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, Baker H, Fielder H, Baldwin JM, Bowling AC, Newman HC, Jenkins AL, Goff DV. 1981. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. Am. J Clin. Nutr. 34: 362-366

Kim SY, Lee SR, In vitro digestibility of chemically modified starches and ramen starches. 1994. Kor. J. Food Sci. Technol. 26: 475-478

Krog N, Olesen SK, Toemases H, Joensson T. 1989. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. Cereal Foods World 34: 281-285

Le Blay G, Michel C, Blottière HM, Cherbut C. 1999. Enhancement of butyrate production in the rat caecolonic tract by long-term ingestion of resistant potato starch. Br. J. Nutr. 82: 419-426

Liu H, Harold C, Ramsden L. Functional properties and enzymatic digestibility of cationic and cross-linked cationic ae.wx. and normal maize starch. 1999. J. Agric. Food Chem. 47: 2523-2528

Medel P, Salado S, , de Blas JC, Mateos GG. 1999. Processed cereals in diets for early-weaned piglets. Anim. Feed Sci. Technol. 82: 145-156

Medel P, García M, Lázaro R, de Blas C, Mateos GG. 2000. Particle size and heat treatment of barley in diets for early-weaned piglets. Anim. Feed Sci. Technol. 84: 13-21

Patridge GG, Gill BP. 1993. New approaches with pig weaner diets: In: Garnsworthy PC, Cole DJA (Eds) Recent advances in animal nutrition. Nottingham University Press. UK. pp 221-248

Reville M, Grosse F, Kachellhoffer J, Doffoel, M, Raul F. 1991. Ileal compensation for age-dependent loss of jejunal function in rats. J. Nutr. 121: 498-503

Sangild PT. 2006. Gut responses to enteral nutrition in preterm infants and animals. Exp. Biol. Med. 231: 1695-1711

Schutte B, Reynders MMJ. Bosman FT, Blijham GH. 1987. Studies with antibromodeoxyuridine antibodies II: Simultaneous immunocytochemical detection of antigen expression and DNA synthesis by in vivo labeling of mouse intestinal mucosa. J. Histochem. Cytochem. 35: 371-374

Stephen AM, Haddad AC, Phillips SF. 1983. Passage of carbohydrate into the colon. Direct measurements in humans. Gastroenterology 85: 589-595

Stephen M-M, van Camp J, Mamiro PRS, Ooghe W, Kolsteren P, Huyghebaert A. 2002. Evaluation of the nutritional characteristics of a finger millet based complementary food. J. Agric. Food Chem. 50: 3030-3036

Svihus B, Uhlen AK, Harstad OM. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Anim. Feed Sci. Technol. 122: 303-320

Vestergaard EM, Danielsen V, Jacobsen EE, Rasmussen V. 1990. Heat treated cereals for piglets. Statens Husdyrbrugsforsoeg, Foulum 674: 71

Wiseman J. Variations in starch digestibility in non-ruminants. 2006. Anim. Feed Sci . Technol. 130: 66-77

Williams BA, Verstegen MWA, Tamminga S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. Nutr. Res. Rev. 14: 207-227

Würsch P, del Vedovo S, Kroellreutter B. 1986. Cell structure and starch nature as key determinant of the digestion rate of starch in legumes. Am. J. Clin. Nutr. 43: 25-29

Yanai T, Matsumoto C, Takashima H, Yoshida K, Sakai H, Isowa K, Iwasaki T, Sato Y, Masegi T. 1996. Immunohisto-chemical demonstration of S-phase cells by anti-bromodeoxyuridine monoclonal antibody in cattle tissues. J. Comp. Path. 114: 265-272

Zabielski R, Le Huerou-Luron I, Guilloteau P. 1999. Development of gastrointestinal and pancreatic functions in mammalians(mainly bovine and porcine species): influence of age and ingested food. Reprod. Nutr. Dev. 39: 5-26

(2007년 10월 1일 접수, 2007년 10월 17일 채택)