

주요 곡류의 에너지 함량 평가에 관한 연구

김은미* · 우순자** · 지규만

고려대학교 자연자원대학 응용동물과학과, 식품공학과**
한국식품개발연구원*

A Study on Estimation of Metabolizable Energy Content in Cereal

Kim, Eun-Mi* · Woo, Soon-Ja** · Chee, Kew-Mahn

Department of Animal Science, Food Technology, ** College of Natural Resource,
Korea University, Seoul, Korea
Korea Food Research Institute, * Songnam, Korea

ABSTRACT

This study was undertaken to determined the metabolizable energy of cereal by the different method. Raw or cooked cereal foods were freeze-dried and fed to Sprague Dawley rat with 200 ~ 300g body weight to measure apparent metabolizable energy(AME) values and nitrogen-corrected AME(AMEn) values for four days after three days of preliminary period for adaptation to the diets. The AME values of Karaeddok, raw rice, cooked rice, raw brown rice, cooked brown rice, raw glutinous rice, cooked glutinous rice, raw barley and cooked barley appeared 4516.1, 3380.6, 4092.2, 3992.2, 4072.2, 3457.0, 4448.9, 2929.4 and 3780.2kcal/kg dry matter, respectively. The AMEn values of Karaeddok, raw rice, cooked rice, raw brown rice, cooked brown rice, raw glutinous rice, cooked glutinous rice, raw barley and cooked barley appeared 4421.5, 3349.6, 4160.0, 3918.7, 4039.3, 3572.0, 4552.5, 3009.9 and 3873.4kcal/kg dry matter, respectively. A slight difference was observed when the AME values of the cereals measured in present study were compared with the energy values calculated by various conversion parameters such as Atwater's, Rubner's, Sochun's and FAO's, indicating that the latter energy values by all conversion factors are acceptable for several cereals. (Korean J Nutrition 29(1) : 50~58, 1996)

KEY WORDS : apparent metabolizable energy(AME) · nitrogen corrected apparent metabolizable energy(AMEn).

서 론

Metabolizable energy(ME)는 식품의 gross energy에서 분 에너지(fecal energy), 뇨 에너지(urinary energy)와 소화과정에서 발생하는 gaseous energy를 제거한 것으로 apparent metabolizable energy(AME)

채택일 : 1995년 10월 24일

라고도 한다¹⁾²⁾³⁾. 일반적으로 식품의 대사에너지가는 AME가를 의미하며, 식품 성분표에 기재된 식품의 열량 가도 해당 식품의 대사 에너지가를 의미한다. 그러나, 식품성분표에 기재된 식품의 열량기는 식품 100g 중의 조단백질, 조지방 및 당질(가용성 무질소물) 또는 탄수화물(가용성무질소물+조섬유소)의 함량에 에너지 환산계수를 곱한 값을 모두 합한 것으로 나타내며 우리나라의 식품성분표에 기재된 식품의 에너지가도 이러한 원리로

산출된 것이다⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

에너지 환산계수로 계산된 에너지가는 식품의 실제 에너지가와 근사한 값을 가져야 한다. 그러나 현재 우리나라에서 사용하는 환산계수는 외국에서 조사한 실험에 근거하여 산출한 것이므로 우리나라 식품에 적용하기에는 상당한 문제점이 있다.

따라서 본실험의 목적은 한국인이 상용하는 주요 곡류 4종을 비가열 처리 시와 가열 처리 시로 구분하여 생체 대사에너지 이용률을 알아보고자 실시하였으며 이와 함께 본실험에서 구한 대사에너지가를 기준의 생리적 연소 열가(energy conversion factor)로 구한 대사 에너지가와 비교하여 그 타당성 여부도 살펴보고자 하였다.

실험 재료 및 방법

1. 실험 설계 및 실험 식이

실험 처리구는 총 10 처리구로서 백미군이 생백미, 백

미밥 및 가래떡군의 3 처리구로 현미군, 찹쌀군 및 보리군은 각각 생군과 조리군의 2 처리구로 하여 총 6 처리구였으며 1군은 기초(Basal) 식이군으로 하였다. 조리를 한 식이군의 일부는 생식이군을 두어, 가열처리에 의한 두 처리구간의 대사 에너지가의 차이 여부를 조사하였다. 1 처리구에 6마리의 쥐를 사용하였으며 종실험기간은 1군당 7일로 3일의 적응 기간 후 4일동안 분변을 수거하였다.

본 연구를 위하여 Sprague Dawley 계통 흰쥐 10주령, 230~330g의 수컷 30마리를 공시하여 사용하였다. 이들 실험동물은 30×30×30cm의 대사 cage(대중기기, 서울)에 개별 수용하여, 매일 일정 시간에 사양 관리를 하였다. 사육실의 채광은 자연 채광으로, 실내 온도는 $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 으로 유지하였으며, 물과 사료는 자유로히 먹을 수 있도록 하였다⁶⁾.

본 실험에 사용한 시료들은 1991년 11월경에 국내 유통업체에서 구입한 것으로, 품질이 일정한 제품을 다량

Table 1. Food items selected to measure energy values

Food items	Cooking condition	Producer or product name
쌀(Rice, R) ¹⁾	흔합된 이물질을 제거한 후 마쇄하여 사용	일반미(햅쌀)
쌀밥(Rice)	3번 수세한 다음, 500g 일반미/0.7L 식용수를 넣고 40분 가열조리	일반미(햅쌀)
가래떡(Karaeddok)	일반미를 3번 수세한 후 불린다음 방앗간에서 제조	일반미(햅쌀)
현미(Brown rice, R)	흔합된 이물질을 제거한 후 마쇄하여 사용	대보곡산®
현미밥(Brown rice)	3번 수세한 다음, 1kg 현미/1.5L 식용수를 넣고 45분 가열조리	대보곡산®
찹쌀(Glu. rice, R) ²⁾	흔합된 이물질을 제거한 후 마쇄하여 사용	대보곡산®
찹쌀밥(Glu. rice) ²⁾	3번 수세한 다음, 1kg 찹쌀/1.5L 식용수를 넣고 45분 가열조리	대보곡산®
보리(할맥, Barley, cut-polished, R)	흔합된 이물질을 제거한 후 마쇄하여 사용	대보곡산®
보리밥(할맥, Barley, cut-polished)	3번 수세한 다음, 1kg 찹쌀/1.5L 식용수를 넣고 45분 가열조리	남도할맥®

1) R = Raw, R 표시가 없는 시료는 cooked sample임. 쌀은 Japonica종을 사용했음. 2) Glutinous rice.

Table 2. Proximate analytical values of the food items

Items	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Crude ash	Nitrogen free e. ¹⁾
Cooked ²⁾				%		
Rice, well-milled	11.97	6.68	—	0.68	0.15	80.52
Karaeddok	12.63	7.41	0.03	0.62	0.71	78.60
Brown rice	12.16	8.15	2.08	1.28	1.28	75.05
Glutinous rice	12.71	8.00	0.30	0.57	0.28	78.14
Barley, cut-polished	12.82	9.30	0.26	0.78	0.56	76.28
Raw						
Rice, well-milled	14.28	7.22	0.46	0.36	0.62	77.06
Brown rice	13.62	8.58	1.84	0.70	1.19	74.07
Glutinous rice	14.17	6.87	0.57	—	0.44	77.95
Barley, cut-polished	11.50	9.75	0.73	0.73	0.88	76.41

1) Nitrogen free extract.

2) All cooked food items were freeze-dried after cooking.

구입하여 사용하였다. 이들 시료는 실험 식이를 배합하기 전까지 신선도를 유지하기 위해 냉장 혹은 냉동 보관하였다. 시료의 종류와 구입장소, 처리방법 등은 Table 1에 요약하였으며 이들 시료의 일반 성분은 Table 2에 나타내었다.

Table 1에 나타낸 시료의 처리는 다음과 같다. 구입한 시료에서 혼합된 이물질을 제거한 다음 일부는 그대로 사용하였고, 다른 일부는 각 시료에 대해 가장 선호도가 높은 조리 방법으로 처리한 후, 냉동전공건조를 하였다. 이것을 전자분쇄기로 수분간 분쇄시킨 후, 100 mesh 체를 통과시키고, 통과되지 않은 가루는 다시 분쇄시켜 mesh를 통과시킨 시료와 합하여 -70°C 냉동고에 보관한 다음, 실험식이를 배합하기 전 6~24시간 동안 풍건 시킨 후 실험시료로 사용하였다.

실험 식이의 배합표는 Table 3에서와 같다. 본 연구를 위한 실험식이의 배합은 기초식이(Basal Diet)를 이용하였으며, 기초식이내 성분중 옥수수의 30%를 실험시료(Table 1의 food items)와 대치하여 실험식이로 사용하였다. 배합된 실험 식이의 일반성분은 Table 4에서와 같다.

2. 조사항목 및 조사방법

매일 일정한 시간에 식이의 채취량과 분뇨의 배설량을 조사하였으며, 분뇨는 따로 수거하여 분석 시료로 사용하였다.

채취한 분은 황산 용액(0.5 N)을 분무하여 질소 성분의 휘발을 방지한 상태에서 75°C에서 48시간 건조한 다음, -10°C 냉동 저장하였고, 채취한 뇨는 염산 용액(0.1 N)을 2ml씩 침가한 후, 4°C 냉장 보관하였다⁶⁾.

실험식이와 채취한 분의 조단백질과 조지방의 함량은 A.O.A.C. 방법(1990)⁷⁾에 준하여 수분은 105°C 증발 전조법으로, 조단백질은 kjeldahl 분석법으로, 조지방은

ether 추출법으로 분석하였으며 뇨의 질소함량은 Muljibhai⁸⁾의 분석방법으로 분석하였다. 이 방법은 H₂SO₄로 시료를 분해하여 수거한 암모니아를 acetylacetone-formaldehyde reagent와 반응시켜 412nm에서 특정적인 흡광도를 나타내는 노란색의 3,5-diacetyl-1,4-dihydrolutidine을 생성케 하는 것을 기본 원리로 한 방법이다.

실험 시료와 분변, 오줌의 총 에너지 함량은 ballistic bomb calorimeter(Gallenkemp Co. England)를 사용하여 측정하였으며, standard 물질은 benzoic

Table 3. Formulation of experimental diets

Ingredients	Basal diet	Test diet
	%	
Food item ¹⁾	-	30.0
Corn	76.4	46.4
Soybean meal	7.0	7.0
Wheat bran	4.0	4.0
Corn oil ²⁾	10.0	10.0
Limestone	0.2	0.2
Dicalciumphosphate	1.7	1.7
NaCl	0.1	0.1
Premix ³⁾	0.6	0.6
Total	100.0	100.0
Analytical values		
Crude protein, %	11.33	-
Crude fat, %	14.56	-
Crude fiber, %	3.05	-
AME, kcal/kg	3729.00	-

1) Refer to food items in Table 1.

2) Stabilized by adding BHT(Chungang Chem. Co. Ltd, Korea Seoul) at a level of 0.0125% of the oil.

3) Vitamin and mineral premix supplied followings per kg diet : Vitamin A 40 I.U., Vitamin D₃ 10 I.U., Vitamin E 60 I.U., Vitamin K₃ 8mg, Vitamin B₂ 1mg, Panthothenic Acid 1.2mg, Niacin 3.2mg, Fe 6mg, Mn 10mg, Cu 1mg, I 120ug, Zn 4mg.

Table 4. Proximate analysis of experimental diets

Experimental diets	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Crude ash	NFE ¹⁾
			%			
Cooked						
Rice, well-milled	10.60	10.33	14.25	2.35	3.83	58.64
Karaeddok	9.64	10.66	15.28	2.26	3.69	58.47
Brown rice	9.44	10.91	14.45	3.32	4.12	57.76
Glutinous rice	13.80	10.97	14.84	2.62	3.78	53.99
Barley, cut-polished	9.02	11.44	14.61	2.70	3.89	58.34
Raw						
Rice, well-milled	11.91	9.36	11.73	2.28	3.55	61.17
Brown rice	11.72	10.23	12.55	3.42	4.08	58.00
Glutinous rice	11.99	9.15	11.70	2.29	4.12	60.75
Barley, cut-polished	11.01	10.13	11.97	2.33	3.60	60.96

1) Nitrogen free extract.

acid(6307.9cal/g, Fisher Scientific Co., Moline)를 이용하였다. 실험사료의 대사 에너지 함량은 일반 대사 에너지(apparent metabolizable energy, AME), 질소 보정한 일반 대사 에너지(nitrogen corrected apparent metabolizable energy, AMEn)를 측정하여 비교하였다. AME와 AMEn의 계산 공식은 지규만과 박종호⁹⁾가 보고한 동일한 공식을 사용하였고 다만 AMEn의 계산은 각 AME값을 AMEn값으로 대치하여 구하였다. 여기서 0.3은 실험 사료의 대치 비율(30%)를 반영한 것이며 질소 보정 계수는 urea-N에 사용되는 7.82kcal/g을 사용하였다¹⁰⁾.

$$\text{AME(kcal/kg)} = \frac{(\text{GEf} \times X) - \text{Yef}}{\text{Feed Intake(kg)}}$$

AME : Apparent Metabolizable Energy(kcal/kg)

GEf : gross energy per kg test diet(kcal/kg)

X : feed intake(kg)

Yef : excreted gross energy(fecal energy + urinary energy)

AME per gram test ingredient =

$$\text{AME per gram Test diet} = \frac{\text{AME per gram Corn} + 0.3}{\text{AME per gram Basal diet}}$$

AMEn per gram test ingredient =

$$\text{AMEn} = 7.82 \times \left(\frac{\text{Total N consumed} - \text{Total N excreted}}{\text{Feed consumed}} \right)$$

7.82 : 질소보정계수, kcal/g urea nitrogen

3. 실험결과의 통계처리

본 실험의 모든 결과는 one way analysis of variance에 의해 분산 분석되었으며, 각 평균간의 유의성 검정은 statistical analysis system(SAS Institute, 1986)의 t-test와 Duncan's multiple range test로 검정을 실시하였고, 모든 유의성 검정은 유의수준 5%에서 비교하였다.

실험 결과 및 고찰

1. 체중의 변화, 식이 섭취량, 에너지 섭취량 및 질소 섭취량

주요 곡류군의 체중의 변화, 식이 섭취량, 에너지 섭취량 및 질소 섭취량은 Table 5에서와 같다. 각 곡류군의 체중의 변이는 특정 경향을 나타내지 않았으며 현미밥군(Brown rice, C), 찹쌀밥군(Glutinous rice, C) 등의 체중이 감소하는 경향을 보였고, 나머지는 상당량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 체중 간의 차이는 실험 동물의 개체간의 차이로 단기간(7일)간의 실험으로 실험 식이에 의한 특별한 영향으로 보기에는 어렵다고 사료된다.

백미군의 식이섭취량은 쌀떡군(Karaeddok)이 제일 낮았으나 유의차는 인정되지 않았으며 생현미군(Brown rice, R)과 현미밥군(Brown rice, C), 생보리군(Barley, R)과 보리밥군(Barley, C) 간에도 식이 섭취량면에서 유의차를 나타내지 않았다. 그러나 생찹쌀(Glutinous rice, R)과 찹쌀밥(Glutinous rice, C)군

Table 5. Body weight change, dietary intake, gross energy intake and nitrogen intake of rats during the balance study¹¹⁾

Dietary groups ²⁾	Body weight		Intake		
	Initial	Change	Feed	Gross energy	Nitrogen
	----- g / rat -----		g/rat/4days	kcal/rat/4days	mg/rat/4days
Basal diet	231.1 ± 31.2	7.5 ± 2.5	53.77 ± 8.44	273.4 ± 43.5	1163 ± 144
BD+Rice, R	265.4 ± 31.8	1.1 ± 0.4 ^{b3)}	53.76 ± 5.70	258.7 ± 27.3	1137 ± 145
BD+Rice, C	232.3 ± 22.3	13.7 ± 5.7 ^a	52.71 ± 5.80	268.5 ± 29.4	976 ± 117
BD+Karaeddok	267.8 ± 36.1	12.0 ± 4.2 ^a	48.30 ± 5.97	242.3 ± 29.9	937 ± 116
BD+Brown rice, R	254.1 ± 33.4	11.1 ± 2.7 ^{a4)}	60.93 ± 5.60	306.9 ± 27.9	1130 ± 103
BD+Brown rice, C	245.9 ± 25.1	-0.7 ± 1.7 ^b	61.70 ± 6.53	309.3 ± 32.6	1020 ± 107
BD+Glu. rice, R	231.9 ± 59.1	15.9 ± 2.1 ^a	45.65 ± 12.60 ^b	221.3 ± 61.2 ^b	754 ± 229 ^b
BD+Glu. rice, C	269.4 ± 23.1	-3.7 ± 0.1 ^b	57.61 ± 6.18 ^a	302.7 ± 32.8 ^a	1174 ± 127 ^a
BD+Barley, cut-p., R	268.1 ± 36.4	1.2 ± 0.0 ^b	51.61 ± 7.12	243.3 ± 33.5	940 ± 129
BD+Barley, cut-p., C	278.3 ± 33.7	6.1 ± 4.4 ^a	57.75 ± 7.91	287.1 ± 39.2	1165 ± 174

1) Values are Means ± SD, n = 6.

2) R = Raw, C = Cooked, Glu. = Glutinous, cut-p. = cut-polished.

The grains were added at a level of 30% by replacing corn on a weight basis in the basal diet.

3) Within a group, values with different superscripts are significantly different($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

4) Within a group, values with different superscripts are significantly different($p < 0.05$) by t-test.

에서는 유의차가 인정되었다.

주요 곡류의 총에너지 섭취량 및 질소 섭취량은 찹쌀 군을 제외한 모든 군에서 식이섭취량과 같이 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났으나, 생찹쌀과 찹쌀밥군에서는 식이섭취량과 같은 경향으로 유의차가 인정되었다 ($p < 0.05$).

2. 실험 식이의 분뇨에 의한 총 에너지 배설량,

총 질소 손실량, 에너지 축적량 및 질소 축적량

주요 곡류 식품의 분뇨에 의한 총에너지 배설량, 총질소 손실량, 에너지 축적량 및 질소 축적량은 Table 6에서와 같다. 총 에너지 배설량은 사료 섭취량과 총에너지 섭취량과 비슷한 경향으로 나타났으며, 생현미군과 찹쌀밥군이 가장 높게 생찹쌀군이 가장 낮게 나타났다.

곡류군의 에너지 축적량 및 축적률은 대략 85~87% 수준으로 각군간에 통계적 유의차가 인정되지 않을 정도로 비슷한 경향으로 나타났다. 전체적으로 쌀떡군이 87.9 %로 가장 높게, 보리밥군이 83.8%로 가장 낮게 에너지를 축적한 것으로 나타났으며 조리군이 비조리군보다 낮은 경향을 나타냈다.

질소축적량과 축적률(%)은 보리군(raw barley or cooked barley)을 제외한 모든 군에서 조리군이 낮게

나타났다. 쌀밥군에서는 생쌀, 쌀떡, 쌀밥 순으로 나타났으며 쌀밥군이 생쌀군과 쌀떡군보다 약 18% 낮게 축적된 것으로 나타났다. 현미군과 보리군은 생것보다는 조리한 군이 높게 축적된 것으로 나타났으나 현미밥군과 생현미간에는 통계적 유의차는 인정되지 않았으며 찹쌀군에서는 찹쌀밥이 생찹쌀군보다 16.3% 정도, 보리군에서는 보리밥이 생보리군보다 11% 낮게 나타났다.

일반적으로 현미는 백미에 비해 단백질, 지질, 섬유소량이 많아 소화율이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 실험 결과에서도 현미군의 에너지 손실량이 쌀밥군보다는 높은 것으로 나타났으나 질소 손실량, 에너지 축적률 및 질소 축적률은 비슷한 경향을 나타냈다. 보리도 쌀에 비해 섬유성분이 많기 때문에 소화율이 낮고 단백질은 많으나 단백자가 떨어지는 것으로 알려져 있는데, 본 실험에서도 보리군이 쌀군보다 에너지 손실량과 질소 손실량이 많고 에너지 축적률과 질소 축적률이 낮은 것으로 나타났으며, 실제 실험결과도 가열 처리한 현미밥군과 보리밥군의 분변의 배설량이 실험군중에서 가장 높은 것으로 나타났다¹¹⁾.

한편, Hartsook 등¹²⁾은 식이 단백질, 지방, 탄수화물 간의 관계를 수컷쥐를 사용하여 실험하였는데 에너지 이

Table 6. Gross energy loss, nitrogen loss, energy retention and nitrogen retention of rats fed ingredients as mixed diet¹⁾

Dietary groups ²⁾	Loss				Retention			
	Fecal energy kcal/rat/4days	Urinary energy kcal/rat/4days	Fecal N	Urinary N	Energy kcal	Energy %	Nitrogen mg	Nitrogen %
			± 7.78	± 2.70	± 59	± 1.4	± 90	± 4.9
Basal diet	39.28 ± 7.78	5.34 ± 2.70	307 ± 59	232 ± 59	228.78 ± 38.56	83.7 ± 1.4	623 ± 90	52.9 ± 4.9
BD+Rice, R	32.38 ± 4.00	2.08 ± 0.58	299 ± 37	237 ± 155	223.48 ± 25.76	86.4 ± 1.9	600 ± 97	54.0 ± 12.1
BD+Rice, C	32.75 ± 5.41	7.76 ± 3.19	231 ± 35	379 ± 162	227.97 ± 29.40	84.9 ± 2.3	366 ± 202	36.0 ± 20.5
BD+Karaeddok	26.71 ± 4.60	2.69 ± 0.99	213 ± 31	211 ± 96	212.92 ± 25.15	87.9 ± 0.9	512 ± 143	54.0 ± 12.4
BD+Brown rice, R	38.74 ± 2.02	4.23 ± 2.26	251 ± 11	282 ± 125	263.89 ± 26.83	86.0 ± 1.2	597 ± 107	53.0 ± 10.0
BD+Brown rice, C	43.45 ± 6.42	3.57 ± 1.39	223 ± 34	251 ± 68	252.25 ± 25.41	84.8 ± 1.0	547 ± 115	53.3 ± 8.8
BD+Glu. rice, R	26.30 ± 7.87	3.74 ± 1.34	181 ± 47 ^{b3)}	218 ± 46	191.25 ± 54.31	86.4 ± 1.5	354 ± 197	40.1 ± 24.7
BD+Glu. rice, C	37.22 ± 6.06	4.47 ± 2.54	273 ± 47 ^a	638 ± 436	260.98 ± 31.32	86.2 ± 2.2	263 ± 396	23.8 ± 33.0
BD+Barley, cut-p., R	34.59 ± 7.65	3.01 ± 1.28	246 ± 39 ^b	506 ± 140	205.64 ± 29.54	84.5 ± 3.1	188 ± 76	21.2 ± 11.6
BD+Barley, cut-p., C	43.09 ± 7.26	3.38 ± 3.01	310 ± 47 ^a	498 ± 302	240.62 ± 39.45	83.8 ± 3.6	358 ± 219	32.2 ± 21.0

1) Values are Means \pm SD, n = 6.

2) R = Raw, C = Cooked, Glu. = Glutinous, cut-p. = cut-polished.

The grains were added at a level of 30% by replacing corn on a weight basis in the basal diet.

3) Within a group, values with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by t-test.

용성이 가장 적절할 때가 단백질이 37.3% 정도라 하였으며 식이내 단백질량이 많으면 많을수록, 분뇨의 질소에 의한 질소 배설량이 증가하는 것으로 나타났다. 또 분변 배설량(fecal solid)이 많으면 이에 따른 에너지 손실량도 커지는데 Southgate 등¹³⁾에 의하면 분변 배설량은 비이용성 탄수화물(unavailable carbohydrate) 섭취와 상관관계가 있다고 하였다. Kundsen¹⁴⁾도 수수가 다른 곡류에 비해 섬유소량이 낮으나 분변량에 의한 에너지 및 기타 영양물질의 손실이 다른 곡류에 비해 많은 것은 가열처리에 의해 비소화성 전분(resistant starch), 비이용성 배아 단백질(unavailable endosperm protein), polyphenols 등이 증가하였기 때문이라 하였다. 한편, Slavin 등¹⁵⁾은 인체 영양에서 쌀 배아의 완화제(laxative-aid), 혈장콜레스테롤 저하효과 및 뇨중 Ca 농도(urinary calcium)의 저하효과 등을 나타내므로 쌀의 도정 정도가 생리에 영향을 줄 수 있음을 시사하였다.

3. 실험 식이 및 단일 성분의 AME, AMEn

실험 식이 및 단일 성분의 일반대사 에너지(AME)와 질소 보정 일반 대사에너지자는 Table 7에서와 같다. Table 7에 제시되지는 않았지만 실험 식이의 AME 섭취량과 AMEn 섭취량은 찹쌀군을 제외한 모든 군에서 비조리군과 조리군간에 통계적 유의차가 인정되지 않았다. 실험식이의 AME와 AMEn은 현미군을 제외한 모든 군에서 낮은 AME가를 보였으며 생현미군과 현미밥군의 AME가는 유의적 차이는 인정되지 않았으나 생현미군이 높게 나타났다.

나머지 곡류군의 경우는 가열 처리군의 AME가와 AMEn가가 매우 높아($p < 0.05$) 에너지 이용효율이 조리에 의해 향상되었음을 알 수 있다. 쌀밥군과 쌀떡군은 가열조건 및 조성이 같으나 AME, AMEn 간의 차이가 크게 났는데 이는 물리적 마쇄후 가열처리에 의한 쌀떡 내 starch의 호화율이 쌀밥이나 생쌀보다 높아서 이용률이 높았다고 생각된다.

단일 식이의 AME와 AMEn는 혼합식이의 AME와 AMEn과 같은 유의적 경향을 보였으며 모든 군에서 비조리군이 조리군보다 낮게 나타났다($p < 0.05$). 현미군도 통계적 유의차는 인정되지 않았으나 비가열 처리군이 가열 처리군보다 낮은 AME, AMEn가를 보였다.

결론적으로 가열처리(조리)가 에너지 소화율을 향상시켜 대사에너지가에 어느정도 영향을 주는 것으로 나타났다. 한편, James 등¹⁶⁾의 연구에 의하면 보리에 어느정도 압출성형을 하면 젤라틴화 되는 정도가 증가하여 대사에너지 이용률을 증가시키고 혈중으로 glucose의 흡수를 증가시킨다고 하여, 본 실험과 비슷한 경향을 나타냈으나, 심한 baking 처리는 비소화성 전분의 함량을 증가시켜 소화율을 감소 시킨다고 하였다. Schrijver 등¹⁷⁾도 oat bran의 가열처리에 따른 단백질, 지질, 섬유소, 에너지 이용성과 혈장콜레스테롤 저하 효과를 조사하였는데, baked oat bran이 raw oat bran보다 불용성 섬유소량이 많아 에너지 이용성이 낮은데 이는 수용성 섬유소가 baking에 의해 불용성의 β -glucan으로 전환되었기 때문이라 하였다. Björck 등¹⁸⁾도 가열처리에 따른 비소화성 전분형성에 대해 조사하였는데, 약간의 압

Table 7. Estimation of apparent metabolizable energy(AME) and nitrogen-corrected AME(AMEn) contents of the various grains added to the basal diet¹⁾

Dietary groups ²⁾	Dietary		Single ingredients	
	AME	AMEn	AME	AMEn
	kcal/kg			
Basal diet	4248.2 ± 72.0	4177.5 ± 64.0	-	-
BD+Rice, R	4149.6 ± 89.0 ^{b3)}	4085.4 ± 81.1 ^b	3380.6 ± 296.6 ^c	3349.6 ± 270.2 ^b
BD+Rice, C	4317.1 ± 117.2 ^a	4283.4 ± 83.3 ^a	4092.2 ± 390.5 ^b	4160.0 ± 277.6 ^a
BD+Karaeddok	4411.5 ± 44.8 ^a	4329.6 ± 53.5 ^a	4516.1 ± 149.2 ^a	4421.5 ± 178.3 ^a
BD+Brown rice, R	4326.3 ± 60.9	4249.5 ± 68.8	3992.2 ± 203.0	3918.7 ± 229.3
BD+Brown rice, C	4254.8 ± 50.7	4179.4 ± 54.9	4072.2 ± 168.9	4039.3 ± 183.1
BD+Glu. rice, R	4175.4 ± 72.0 ^{b4)}	4154.9 ± 97.2 ^b	3457.0 ± 240.1 ^b	3572.0 ± 324.1 ^b
BD+Glu. rice, C	4521.2 ± 112.6 ^a	4483.4 ± 105.4 ^a	4448.9 ± 375.5 ^a	4552.5 ± 351.4 ^a
BD+Barley, cut-p., R	3982.5 ± 146.0 ^b	3952.4 ± 151.8 ^b	2929.4 ± 486.6 ^b	3009.9 ± 506.0 ^b
BD+Barley, cut-p., C	4153.2 ± 177.2 ^a	4115.9 ± 192.9 ^a	3780.2 ± 590.7 ^a	3873.4 ± 643.0 ^a

1) All values were expressed as Mean ± SD.

2) R = Raw, C = Cooked, Glu. = Glutinous, cut-p. = cut-polished.

The grains were added at a level of 30% by replacing corn on a weight basis in the basal diet.

3) Within a group, values with different superscripts are significantly different($p < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

4) Within a group, values with different superscripts are significantly different($p < 0.05$) by t-test.

출 성형이 곡류의 수용성 섬유소 함량을 생시료의 40%보다 높은 50~70%로 증가시켜 장내 소화흡수를 증가시켜 에너지 이용률을 증가시킨다고 하였다. 그러나, 이로 인해 분변 배설량은 증가하지 않으므로 변성된 전분이 완전하게 발효되어 흡수 된다고 하였으며, Theander 등¹⁹⁾ 도 곡류가공이 섬유소 함량과 구성에 영향을 주어 곡류의 에너지 및 영양소의 이용성에 영향을 준다고 하였다.

Monica 등²⁰⁾은 고온가압처리(autoclaved)한 유아용 퓨레(purées)와 통조림 식품을 가지고 식품의 에너지 이용성을 저하시키는 비소화성 전분에 대해 조사했는데, 고온가압처리한 유아용 퓨레에는 비소화성 전분량이 총 전분량의 2~8% 정도로 나타났으며 특히, pea가 함유된 제품의 비소화성 전분 함량이 높은 것으로 나타났다. 또 통조림 legume seeds의 비소화성 전분량은 1.5~3.2%(dry weight basis, dwb)로 총 전분량의 약 6%로 나타났으며 토마토 통조림의 비소화성 전분량은 meshed 토마토 보다 높게 나타났다. 그러나, 옥수수의 비소화성 전분은 고온가압처리한 것에서는 극미량으로 나타났으나, 압출 성형한 cornflake에서는 1.1%(dwb) 정도가 나타났다고 하였다.

4. 대사 에너지가의 비교

단일 식이의 대사 에너지가의 비교는 Table 8에서 같다. 전반적으로 실험치는 조리군이 비조리군보다 높은 대사치를 나타냈으며, 계산치도 쌀밥군과 찹쌀군을 제외하고는 같은 경향을 나타냈다. 실험치를 100으로 높고 계산치를 비교한 결과는 Fig. 1에서와 같다. 쌀밥군에서, 전체적으로 실험치와 가장 근접한 계산치는 Atwater 계수치와 FAO 계수치로 나타났으며 쌀밥군에서는

모든 계수치가 실험치와 거의 유사한 대사 에너지가를 나타냈으며 Atwater 계수치와 小天의 계수치는 실험치보다는 낮았으나 그 차이는 작았다. 가래떡군에서는 모든 계수치가 실험치보다 낮게 나타났으나 생쌀군에서는 계산치가 20% 정도 높게 나타났다.

이 결과와 유사하게 Mile 등²¹⁾은 16명의 여자와 13명의 남자에게 자유급식을 급여하여 열량과 단백질 섭취량에 대해 조사한 결과, 식품의 인체 대사 에너지가 Atwater 계수의 적용 수치와 비슷하게 나타났다고 하였다. 그리고 Goranzon과 Forsum²²⁾과 Miles 등²³⁾도 여러 종류의 저섬유소식과 1개의 고섬유소식을 성인남자에게 급여하여 기존의 에너지 체계간을 비교한 결과 저섬유소 식이에 대해 모든 에너지 계수치가 상당히 정확하게 대사 에너지가를 측정하는 것으로 평가되었다. 즉 난소화성 전분이 적은 식품의 대사 에너지가는 기존의 일반 계수를 적용시켜 실제 대사 에너지가와 가까운 대사 에너지가를 구할 수 있는 것으로 나타났다.

찹쌀군에서는 실험치에서 조리군이 비조리군보다 1,000 kcal/kg 정도 높은 대사치를 나타냈으며 생찹쌀군의 실험치는 계산치보다는 높게 찹쌀밥군보다는 낮게 나타났다. 이와 같은 실험치는 가열 처리나 건조 과정으로 인해 이들 식품의 소화 흡수율이 감소되거나 증가되었기 때문이라 생각된다. 즉 생찹쌀은 난소화성 전분에 의해 대사 에너지가 이론치보다 감소하고 찹쌀밥군은 건조 과정과 가열 처리에 의해 난소화성 전분이 소화성 전분으로 전환되었기 때문이라 생각된다.

보리군에서는 실험치에서 조리군이 비조리군보다 850kcal/kg 정도 높게 나타났으며 이것도 가열 처리에

Table 8. Comparison between AME values of single ingredients in this experiment and the calculated values by various energy conversion factors

Single ingredients ¹⁾	AME by this experiment	by Rubner ²⁾	by Atwater ³⁾	by FAO ⁴⁾	by SoCheun ⁵⁾	kcal/kg
Rice, well-milled, R	3380.6	4118.8	4018.0	4112.6	3911.9	
Rice, well-milled, C	4092.2	4093.0	3993.2	4094.1	3885.8	
Karaeddok	4516.1	4068.5	3969.2	4066.8	3861.7	
Brown rice, R	3992.2	4154.3	4051.4	4128.9	3951.4	
Brown rice, C	4072.2	4163.4	4060.1	4137.4	3961.8	
Glutinous rice, R	3457.0	4113.5	4012.7	4107.1	3907.9	
Glutinous rice, C	4448.9	4104.7	4004.4	4098.5	3896.9	
Barley, cut-polished, R	2929.4	4102.1	4001.5	3903.1	3894.8	
Barley, cut-polished, C	3780.2	4089.2	3989.2	3895.1	3880.4	

1) R = Raw, C = Cooked.

2) Rubner's energy conversion factors are 4.1, 9.3, 4.1kcal/kg for protein, fat, carbohydrate, respectively.

3) Atwater's energy conversion factors are 4, 9, 4kcal/kg for protein, fat, carbohydrate, respectively.

4) FAO's energy conversion factors are 3.87, 8.37, 4.12kcal/kg for protein, fat, carbohydrate, respectively in rice, karaeddok, brown rice, glutinous rice, 3.55, 8.37, 3.95 in barley.

5) SoCheun's energy conversion factors are 3.8, 9.3, 3.9kcal/kg for protein, fat, carbohydrate, respectively.

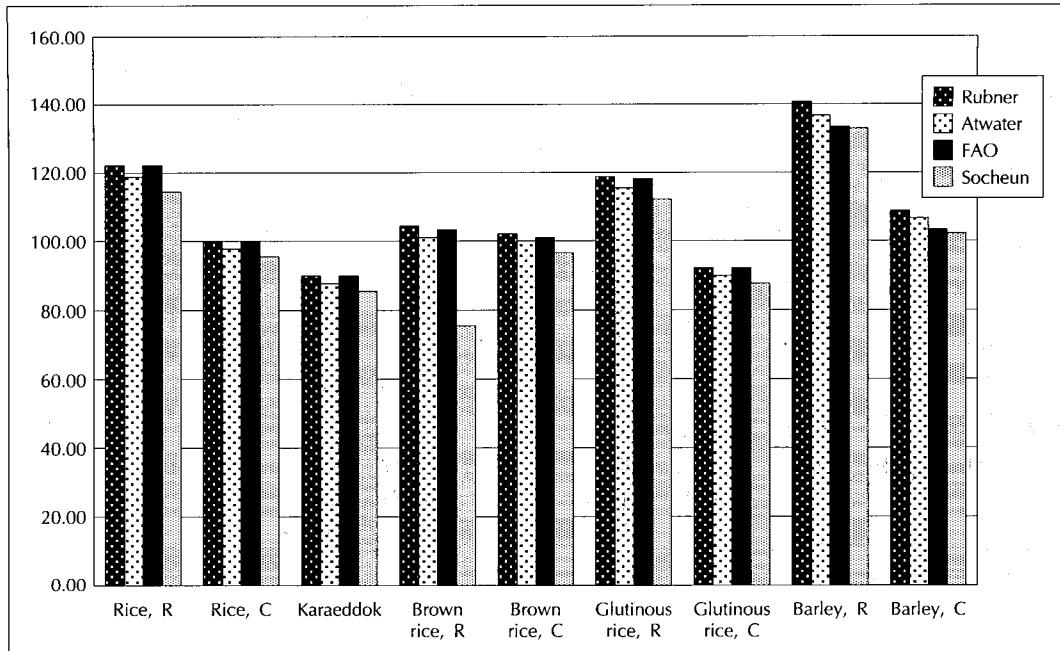


Fig. 1. Comparision related percentage values between AME values of single ingredients in this experiment(100%) and the calculated values by various energy conversion factors.

의해 생보리의 난소화성 전분이 소화성 전분으로 전환되었기 때문이라 사료된다. 보리밥군의 실험치와 가장 근접한 계산치는 Socheun의 계수치와 FAO 계수치로 나타났으며 Rubner와 Atwater는 과대로 평가되었다. 이는 Rubner 계수와 Atwater 계수가 보리밥의 당질중 난소화성 전분의 열량가를 과량으로 평가하였기 때문에 나타난 결과로 여겨진다. 그러나 Socheun의 계수치와 FAO 계수치는 생체 소화율을 근거로 제시한 이론치이기 때문에 본 실험의 결과와 유사한 것으로 여겨진다. 이는 저섬유소식에서 기존의 에너지 환산계수치가 상당히 정확하게 대사 에너지가를 예측한다고한 Goranzon과 Forsum²²⁾과 Miles²³⁾등의 연구 결과와 유사하였다.

현미군에서는 조리군과 비조리군에서 실험치와 계산치가 모두 비슷한 대사 에너지가를 나타내어 가열처리가 현미의 소화율을 향상시키지 않는 것으로 나타났다.

본 실험은 인체가 아닌 실험동물에 실시된 식품의 에너지 대사실험이므로 인체를 대상으로 실시한 실험과는 상당한 차이가 있을 것으로 사료된다. 그러나 실험동물의 소화율(이용률)을 고려한 측정방법이 계수만을 적용한 계산방식에 비해 에너지값의 정확성이 더 높다고 생각된다.

요약

본 연구는 실험 동물을 통해 한국인이 선호하는 주요

곡류의 대사 에너지 함량을 조사하고자 실시하였다. 실험시료로는 쌀, 현미, 찹쌀, 보리 등의 곡류를 사용하였으며 처리방법은 기존의 방법과 같이 가열처리한 후 비가열 처리한 것과 대사 에너지가를 비교하였다.

생쌀의 AME와 AMEn은 각각 3380.6, 3349.6, 조리한 쌀의 AME은 AMEn은 각각 4092.2, 4160.0kcal/kg dry matter를 나타냈으며, 생현미의 AME와 AMEn은 3992.2, 3918.7, 조리한 현미의 AME와 AMEn은 4072.2, 4039.3kcal/kg dry matter, 생찹쌀의 AME와 AMEn은 3457.0, 3572.0, 조리한 찹쌀의 AME와 AMEn은 4448.9, 4552.5kcal/kg dry matter, 생보리의 AME와 AMEn은 2929.4, 3009.9, 3780.2, 조리한 보리의 AME와 AMEn은 3780.2, 3873.4kcal/kg dry matter를 각각 나타냈다. 가래떡의 AME와 AMEn은 4516.1, 4421.5kcal/kg dry matter를 나타냈다.

본 실험에서 구한 대사 에너지 함량을 Atwater, Rubner, Socheun, FAO의 에너지 환산계수(energy conversion parameter)로 계산한 에너지 함량과 비교한 결과, 대체적으로 비교한 식품종목에서 모든 에너지 환산계수로 계산된 에너지 함량치가 실험치와 유사한 결과를 보여 주었다. 그러나 이러한 결과가 기존의 에너지 환산계수를 우리나라 식품에 그대로 적용할 수 있음을 나타내는 것을 아니므로 식품의 화학 성분으로 생리적 에너지 함량을 예측하게 하는 특정 계수에 관한 좀 더

많은 연구가 필요하다고 본다.

Literature cited

- 1) Farrel DJ. Rapid determination of metabolizable energy of foods using cookerels. *Br Poultry Sci* 19 : 303-308, 1978
- 2) Church DC, Pond WG. Basic animal nutrition and feeding. 141-160, Wiley, New York, 1982
- 3) Matterson LD, Potter LM, Stutz MW, Singsen EP. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens agricultural experiment station. The University of Connecticut Storrs, Connecticut, Research Report 7, 1965
- 4) Milton LS, Nesheim MC, Young RJ. Nutrition of the Chicken. ML Scott & Associates, 3nd. Chapter 10 : 521-549, 1982
- 5) Schneider BH, Flatt WP. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press, 143-160, 1975
- 6) 김숙희 · 지규만 · 김화영 · 성낙용 · 주진순. 한국인 영양 권장량 설정을 위한 기초 연구, 8-58, 한국인구보건연구원, 1985
- 7) AOAC. Official method of analysis, 1990
- 8) Muljibhai BD. Spectrophotometric method for microdetermination of nitrogen in kjeldahl digest. *J Assoc off Anal Chem* 72(6) : 953-956, 1989
- 9) 지규만 · 박종호. 병아리 사료에서 일반대사 에너지와 순 대사 에너지의 이론적 정확성 비교를 위한 실험. *한국영양 학회지* 25(7) : 543-554, 1992
- 10) Jabbar MA, Slinger SJ. An evaluation of the nitrogen correction in the true metabolizable energy assay. *Poultry Science* 60 : 835-839, 1980
- 11) Charly H. Food Science(2th). Willy, 133-145, 1982
- 12) Hartsook EW, Hershberger TV, Nee JCM. Effect of dietary protein content and ratio of fat to carbohydrate calories on energy metabolism and body composition growing rats. *J Nutr* 103 : 167-178, 1973
- 13) Southgate DAT, Branch WJ, Hill MJ, Drasar BS. Metabolic responses to dietary supplements of bran. *Metabolism* 25(10) : 1129-1135, 1976
- 14) Knudsen KEB, Allen WK, Bjørn OE, Munck L. Carbohydrate composition and nutritional quality for rats of sorghum to prepared from decorticated white and whole grain red flour. *J Nutr* 118 : 588-597, 1988
- 15) Slavin JL. Health benefits of rice bran in human nutrition. *Cereal Food World* 37(10) : 760-763, 1992
- 16) James GF, Rosmary KM, Newman CW, Graham H. Effect of baking hulless barley on the digestibility of dietary components as measured at the ileum and in the feces in pigs. *J Nutr* 119 : 722-726, 1989
- 17) Schrijver RD, Fremaut D, Verheyen A. Cholesterol-lowering effects and utilization of protein, lipid, fiber and energy in rats fed unprocessed and baked oat bran. *J Nutr* 122 : 1318-1324, 1992
- 18) Björck IA, Lund KQ. A study of native and chemistry modified potato starch : Part II Digestibility in the rat intestinal tract. *Starch/stärke* 41 : 128-134, 1989
- 19) Theander O, Westerlund E. Structure and components of dietary fiber. *Cereal Food World* 38(3) : 135-141, 1993
- 20) Monica S, Inger B. Digestibility and utiligestible carbohydrates in autoclaved legumes, potatoes and corn. *Food Chemistry* 38 : 145-152, 1990
- 21) Mile CW, Brooks B, Barnes R, Marcus W, Prather ES, Bodwell CE. Calorie protein intake and balance of man and woman consuming self-selected diets. *Am J Clin Nutr* 40 : 1361-1367, 1984
- 22) Goranzon H, Forsum E. Calculation and determination of metabolizable energy in mixed diets to humans. *Am J Clin Nutr* 38 : 954-963, 1983
- 23) Miles CW, Kelsay JL, Wong JP. Effect of dietary fiber on metabolizable energy of human diets. *J Nutr* 118 : 1075-1081, 12, 1988