

식품에너지에 대한 이해

The understanding of food energy

김은미 | 공정기술연구단

Kim Eun Mi | Processing Technology Research Group

식품에너지에 대한 정의

칼로리(calorie)는 단순한 정의로는 에너지의 단위이며 absolute J 단위로 4.184 J과 동등하다. 우리나라에서 식품의 표기사항과 출판매체에서 가장 널리 사용되는 것은 kilocalorie (1,000 cal, kcal)이다. 열역학적인 관점에서 에너지는 새로 발생하거나 사라질 수 없고 변환만 되는 것으로 알려져 있으며, 따라서 사람의 신체에서도 결국 에너지의 일정한 변환만 일어나게 된다. 간단한 예가 사람을 비롯한 동물에서 식품을 연소하여 열을 생성하는 것이다. 이것은 지금은 흔히 받아들여지는 개념이지만 18세기 초에는 이것은 전혀 알려지지 않은 개념이었다. Lavoisier는 0°C에 얼음과 guinea pig를 같이 놓았을 때, 10시간 후 0.37 kg의 얼음이 녹는 현상을 관찰하고 호흡을 통한 가스교환은 촛불이 타는 연소와 동일하다고 결론을 냈다. 또한 Crawford는 동물에 의해 소비되는 산소의 양이 물

질의 연소에 의해서 소비되는 양과 거의 동일하게 변환됨을 발견하였다. 이들은 perfect engine이라는 면에서 신체의 에너지 대사를 해석했는데, 식품학적인 관점이 아닌 순수한 열역학적 관점에서 식품의 에너지에 대한 새로운 개념을 정립하는데 결정적인 도움을 주었다.

그러나 사람이나 동물의 신체는 perfect engine은 아니며 열역학적으로 순수할 수도 없다. 지금은 식품의 연소로부터 발생하는 energy가 인체에서 이용이 가능한 에너지와 동일하지 않다는 것이 알려졌다. 이것이 metabolizable energy의 개념이다. 이것은 식품이 가진 gross energy와 분과뇨에 함유된 에너지의 차이이다(이들은 모두 bomb calorimeter로 측정한다). 이러한 식품의 gross energy와 이용 가능한 에너지에 대한 체계적인 연구는 독일의 Rubner와 미국의 Atwater에 의해서 수행되었다. Rubner는 Bomb calorimeter를 사용하여 개개별 식품에서 발견되는 많은 단백질, 지

방 및 탄수화물의 연소열가를 측정하였다. 이때 그는 olive oil은 9,384 kcal/kg, sucrose는 3,959 kcal/kg, 전분은 4,116 kcal/kg으로 확정하였다. 하지만 Rubner는 분으로의 손실을 계산하지 않아 calorie-conversion factor로 까지 확장시키지 못했다. 그렇지만 단백질에 대해서는 동물성 단백질과 식물성 단백질에 의한 분과 뇨의 연소를 통해 에너지 손실을 결정하였는데 결과적으로 동물성 단백질과 식물성 단백질의 대사에너지가 차이를 증명하였다. 이때 동물성 단백질과 식물성 단백질은 대사에너지가 각각 4,230 kcal/kg 및 4,300 kcal/kg으로 조사되었다. 이러한 Rubner의 연구는 사람의 신체는 식품에 포함된 연소열량을 모두 사용할 수 없다는 것을 보여준 최초의 연구였다.

식품에너지 연구동향

Atwater는 Rubner의 연구를 확장하여 다른 macronutrient들도 조사하였다. 그는 단백질, 지방 및 탄수화물을 사람의 소화 실험 data와 다른 data를 조합해서 이용계수(coefficient of availability)를 제안했다. Atwater와 Bryant는 이 이용계수를 혼합 식이들의 (쇠고기, 버터, 호밀빵 및 구운 콩) 연소열값에 적용하였다. 이들은 인체를 대상으로 단백질과 지방의 에너지 이용계수를 구했다. 특히 단백질은 뇨에 포함된 질소가 흡수된 단백질 g당 7.9 kcal(질소로는 1.25 kcal)의 완전 산화되지 않은 상태로 배설됨을 알아냈고, 이를 단백질의 연소열에서 1.25 kcal/g을 빼주어 보정하는 것이 더 실제 실험 data에 잘 맞음을 발견하였다. 이러한 실험을 바탕으로 이들은 Atwater factor로 알려진 수치를 확립하였다. Atwater factor는 단백질, 지방 및 탄수화물이 각각 4.0 kcal/g,

8.9 kcal/g 및 4.0 kcal/g의 available energy로 알려지게 되었다. 이 수치를 기억하기 쉽게 단백질, 지방과 탄수화물이 4 kcal/kg, 9 kcal/kg 및 4 kcal/kg으로 정리되었으며, 이를 Atwater general factor로 정립되었다. 따라서 Atwater factor는 오늘날의 대사에너지(metabolizable energy)의 개념과 동일하다. 하지만 이 수치는 식품의 단백질, 지방 및 탄수화물이 각각 92%, 95% 및 97% 이용계수(coefficient of availability)를 가진 것으로 가정하기 때문에 이보다 소화율이 낮아 이용계수가 낮게 되면 Atwater factor를 이용한 계산은 상당한 오차를 보인다. 즉 Atwater factor는 식품의 평균 이용계수를 이용해 구한 평균 수치이다. 결국 이것은 Atwater factor가 error를 범할 소지를 가지고 있다는 것을 의미하지만 1970년대 식품의 대사ener지를 구하는데 광범위하게 사용되었다.

Southgate와 Durin은 1970년에 Atwater factor에 대한 검증 실험을 했는데 단 한가지 경우를 제외하고 Atwater general factor는 신뢰할 수 있는 것으로 결론났다. 이 단 한가지 예외는 unavailable dietary carbohydrate의 함량이 높은 식품들이었다. 여러 연구자들은 이를 높은 unavailable dietary carbohydrate의 함량이 식품은 분으로 지방, 단백질 및 에너지 배설을 증가시키기 때문으로 결론을 내렸다. 또 다른 연구자들은 특정 범위의 dietary fiber 수준(1.2~18%)을 함유한 식품들에서 Atwater general factor가 이들 식품의 에너지 함량을 과대평가 한다고 보고하였다. 이들 연구자들은 그들의 결과에 대해 dietary fiber가 장통과 시간을 감소시켜 결과적으로 장에 머무는 시간이 줄어든 것을 이유로 여겼다. 특히 발효를 통해 dietary fiber 함량을 감소시키면 이들 식품에서 단백질과 지방에 대한 에너지함량이 증가하는 현상을 보고하기도 하였다. 이것은 미생물을

이용하여 nonstarch polysaccharide의 화학적 구조와 fiber component의 lignification degree를 변경하면 Atwater factor가 영향을 받는다는 것을 증명한 것이다.

한식의 에너지 분석

우리나라에서는 매년 국민영양조사 보고를 통해 각 식품들의 에너지와 영양소 함량을 조사하고 있지만, 에너지와 관련된 부문은 우리 전통 식단인 한식의 에너지 factor에 대한 이해부족과 이를 평가하는 guide의 부재로 인해 상당한 혼란을 겪고 있다. 또한 현재 한식에 대해 사용하는 계수법에 의한 에너지 산출은 음식 재료간의 상호작용에 의한 인체 내의 소화율과 조리법에 의한 효율 변화 등 다양한 측면이 고려되지 않아 실제 음식으로부터 인체가 얻는 열량값과 상당한 차이가 있다. 특히 한식이 다양한 식재료를 사용하고 식이 섬유소 함량이 높아 생체 이용 열량값이 계수법으로 계산한 수치와 큰 차이를 보이며, 이때 대체로 기존의 계수법이 한식의 열량값을 과대평가하고 있는 것으로 조사되었다.

실 예로 본 연구원에서 수행한 연구에서 동물실험에 의한 식품의 생체 에너지 측정 연구에서 식품의 생체내 이용열량값이 식품에 따라 계수법에 의한 계산 수치와 상당한 차이가 있음이 조사되었다. 비빔밥과 현미밥의 경우 기존의 계수법은 10%정도 열량값이 과대평가되는 반면, 피자는 10%정도 과소평가되는 것으로 조사되었다. 피자 식사 1인분 에너지와 햄버거 식사 1인분 에너지를 비빔밥 1인분 에너지와 비교하면 각각 11.1%와 92.6%가 더 높은 것으로 나타났다. 김밥 식사 1인분과 비교 시에는 이러한 차이가 더 극적으로 나타나 피자 식

사, 햄버거 식사 및 스파게티 식사 1인분이 각각 93.5%, 235.5% 및 35.5%로 더 많은 에너지를 함유한 것으로 나타났다.

맺은말

식품의 에너지 중에 특히 한식에서 이러한 오류가 많이 나타나고 확대되는 이유는 식품의 에너지에 대한 정의를 올바르게 이해하지 않고, 소화율이 매우 높은 서구식에 적용되는 Atwater 환산계수를 소화율이 상당히 낮은 섬유소가 다량 함유된 음식재료가 많이 포함된 한식에 무리하게 적용함으로써 나타나는 오류인 것으로 생각된다. 실제로 한식의 열량값을 계수법으로 산출할 경우 국민의 대다수가 에너지를 과다 섭취하는 것으로 평가되어 우리나라 국민의 비만율이 높아야 되나, 우리 국민의 비만율은 실제로 미국 등 서양과 비교할 때 매우 낮게 나타난다. 이러한 결과는 한식의 실제 열량값을 실험동물을 이용하여 측정함으로써 에너지 계수법의 사용으로 인한 한식의 대사에너지 평가 오류를 수정하고, 한식이 생체 내에서 이용되는 실제 열량값을 측정하여 한식이 인체의 열량대사 측면에서 매우 바람직한 저열량 건강식임을 입증해야 한다. 또한 이를 규격화된 한식의 영양 성분표에 표기를 통해 정확한 한식의 에너지 함량 정보를 제공함으로써 한식 세계화의 목표를 달성할 수 있을 것으로 여겨진다. 또한 우리 국민들이 서구화된 식단으로 인한 대사성 질병의 예방을 매일 섭취하는 기존 한식단의 단순한 변화만으로도 상당한 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

● 참고문헌 ●

1. Brown J, Livesey G, Roe M, Faulks R, Poppitt S, Wilkinson J, Elia M, Metabolizable energy of high nonstarch polysaccharide-maintenance and weight-reducing diets in men: experimental appraisal of assessment systems, *J Nutr*, **128**(6), 986-995, 1998
2. Kim EM, Choi JH, Choi KB, Yeo IH, The evaluation of metabolizable energy of Angelica keiskei products, *Korea J Nutr*, **43**(1), 5-11, 2010
3. Kleiber M, *The fire of life: an introduction to animal energetics*, Wiley & Sons, USA, 3-8, 1961
4. Kruskall LJ, Campbell WW, Evans WJ, The Atwater energy equivalents overestimate metabolizable energy intake in older humans: results from a 96-day strictly controlled feeding study, *J Nutr*, **133**(8), 2581-2584, 2003
5. Miles CW, Kelsay JL, Wong NP, Effect of dietary fiber on the metabolizable energy of human diets, *J Nutr*, **118**(9), 1075-1081, 1988
6. Moe PW, Future directions for energy requirements and food energy values, *J Nutr*, **124**, 1738-1742, 1994
7. Southgate DA, Durnin JV, Calorie conversion factors. An experimental reassessment of the factors used in the calculation of the energy value of human diets, *Br J Nutr*, **24**(2), 517-535, 1970
8. Widdowson EM, Assessment of the energy value of human foods, *Proc Nutr Soc*, **14**(2), 142-154, 1955
9. Wisker E, Feldheim W, Metabolizable energy of diets low or high in dietary fiber from fruits and vegetables when consumed by humans, *J Nutr*, **120**(11), 1331-1337, 1990

김은미 농학박사

소 속 : 한국식품연구원 공정기술연구단

전문분야 : 영양화학 및 식품화학

E-mail : Kem@kfri.re.kr

T E L : 031-780-9287