

사료 영양 (Feed Nutrients)

번역 : 최 태 일

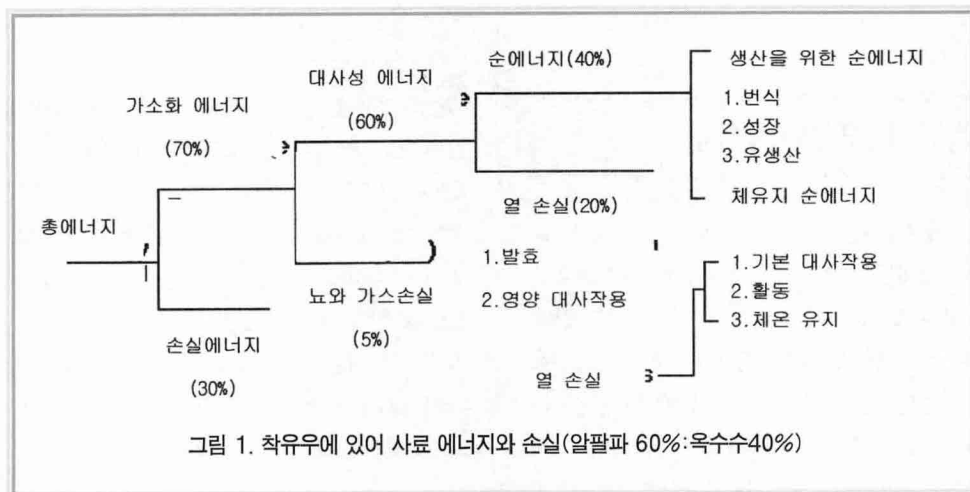
출처 : 미국 미네소타주립대 낙농연구소 활용 농가교육시침서

에너지

젓소가 섭취한 사료에 함유되어 있던 탄수화물, 지방, 단백질 등은 소화와 대사작용 과정에서 일부 손실이 발생하고, 이를 제외한 나머지가 체 유지, 유생산 및 번식에 이용된다. (그림 1)은 젓소가 섭취한 사료 에너지가 체내에서 어떻게 이용되고 있는지를 간략하게 보여주고 있다. 사료 전체 에너지인 총에너지(Gross Energy)는 원료 사료를 완전 산화시킬 때 발생하는 열량(熱量)으로 측정을 하며, 그 에너지가(Energy Value)는 칼로리로 표시한다. 또한 일반적으로 동물이 활용할 수 있는 에너지가 (Energy Value)는 원료 사료의 총에너지 함량과

동일하지만, 소화 정도에 차이가 발생하기 때문에 섭취한 사료의 총에너지와는 상이하다. 그리고, 가소화 에너지(Digestible Energy)란 총에너지에서 손실 에너지를 뺀 부분으로 저질 조섬유사료보다 양질의 조섬유가 더 높다.

가소화 에너지 중 노와 가스 생성으로 인한 추가 손실이 발생한다. 그 중 반추위에서는 상당한 양의 메탄 가스가 발생하는데 동물은 이 메탄 가스를 이용할 수가 없어 외부로 배출시켜야만 한다. 그렇기 때문에 대사 에너지를 계산할 때 이러한 손실분도 제외시켜야 한다. 소화와 대사 과정 중에 발생한 열은 추운 겨울철 이외에는, 에너지로서 가치가 없



어 손실로 분류한다. 이러한 과정을 거쳐 결국 체 유지와 생산을 위한 정미 에너지(Net Energy)만 남게 된다. 성장 요구량과 사료 성분 측면에서, 정미 에너지가 체 유지와 생산 활동을 위해 각각 이용되지만, 동물은 성장보다는 체 유지를 위해 에너지를 더욱 효율적으로 활용하기 때문에 가치 차이가 발생한다. 그러나, 작유우의 경우, 체 유지와 유 생산에 이용되는 에너지의 효율이 비슷하다.

가소화영양분총량(TDN)은 사료내 에너지 함량 혹은 에너지 요구량을 표현하는 또 다른 수단이다. TDN은 가소화 에너지와 비교할 수 있지만, 정미 에너지 체계보다 활용 범위가 더 넓고 원료 사료의 이용 측면에서도 더 많은 가치를 지니고 있다.

$$\text{TDN} = \text{가소화 질소} - \text{탄수화물} + \text{가소화 조섬유} + \text{가소화 단백질} + (\text{가소화 에테르 추출물} \times 2.25)$$

NE와 TDN, 비유 NE(NEL)는 TDN에서 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{NEL (Mcal/lb DM)} &= (\text{TDN, \% of DM} \times .01114) - .054 \\ \text{NEL (Mcal/lb DM)} &= (\text{TDN, 건물 \%} \times .01114) - .054 \end{aligned}$$

탄수화물 : 탄수화물은 주요 에너지원으로, 총사료(조사료와 곡물)의 건물 중 50~80%가 탄수화물로 구성되어 있다.

탄수화물의 주요 3가지 분류는 단당류(glucose), 전분(starch) 및 구조적 탄수화물(cellulose와 hemicellulose) 혹은 섬유소로 구분할 수 있다. 당(糖)은 성장 중인 식물의 세포와 당밀과 같은 사료에 많이 함유되어 있고, 전분(Starch)은 곡물의 주

요 성분이다. 셀룰로스(cellulose)와 헤미셀룰로스(hemicellulose)는 전분과 같이 당 분자로 되어 있지만 결합 구조가 다르다. 셀룰로스와 헤미셀룰로스는 식물 조직의 구조와 강도(強度)를 제공하는 역할을 담당하는 섬유소이다. 돼지와 가금류와 같은 단위 동물은 많은 양의 섬유소를 소화 시키지 못하지만, 성숙한 반추 동물의 경우에는 반추위내 미생물이 섬유소를 이용 가능한 형태로 분해할 수 있어 소화 이용된다. 그러나, 식물의 구성물 중 리그닌은 탄수화물이 아니며 소화도 불가능하다. 식물이 성장할수록 리그닌의 함량이 증가해, 결과적으로 사료의 소화율도 저하된다.

사료내 섬유소 함량을 측정하는 방법은 3가지가 있다. 조섬유 측정법은 가장 오래된 방법으로 산을 중화시키고 알칼리 처리 후에도 남아 있는 잔존물의 양을 측정하는 방법이다. 조섬유는 분석 단계에서 많은 양의 리그닌과 헤미셀룰로스가 소실되므로 전체 섬유소 혹은 세포벽성 물질을 측정하는 정확한 방법은 아니다. 또한 셀룰로스는 조섬유로부터 전량 회수되지도 못한다. 조섬유를 측정이 많이 시행되고 있지는 않지만, 사료를 구매하거나 판매할 때에는 성분표에 반드시 표기해야 하는 항목이다. 산성 세제 불용성 섬유소(ADF)는 셀룰로스, 리그닌, 목질화된 질소 구성물(열 손상 단백질), 불용성 회분으로 구성되어 있다. 헤미셀룰로스의 양을 정확하게 측정하지 못하기 때문에 산성 세제 불용성 섬유소로는 사료내 전체 조섬유 함량을 대표할 수는 없다. 그러나 조섬유(CF)를 대체하여 섬유소 성분을 측정하는 상대적으로 빠른 방법이다. 사료의 소화력이나 에너지 함량을 측정하기 위해 이용되는 계산식은 ADF를 기준으로 하거나 주요 인자로서 ADF를 포함시키는 것이다.

중성 세제 불용성 섬유(NDF)는 ADF와 헤미셀룰로스로 구성되어 있으며 세포벽성 물질로 불리

고 있다. NDF는 사료내 전체 조섬유를 대표하기 때문에 섭취량, 반추, 반추시간과 상당한 연관성을 가지고 있다. 물리적인 형태로 보정할 수 있어 NDF는 사료 배합비를 작성하는데 있어 유효 조섬유를 측정하는 최고의 수단이 되고 있다. 특히 고 섬유질 부산물에는 유효 NDF를 어느 정도 함유하고 있기 때문에 사료로부터 직접 공급되어야 하는 섬유소를 일부 대체할 수 있다. 그 중 면실이 최적의 유효 조사료 NDF 대체가를 가지고 있다. 비섬유소 탄수화물(NFC) 측면에서 사료내 전분, 당, 펙틴은 소화율이 좋고, 건물 100을 기준으로 해서 NDF, CP, 지방, 회분의 구성 비율을 빼면 NFC를 구할 수 있다.

NFC%

$$= 100 - [\%NDF + \%CP + \%fat + \%ash]$$

비구조 탄수화물은 NFC와 대체하여 사용할 수 있지만, 분석학적으로 결정이 되고 NFC에서 조금 다를 수도 있다. 전통적으로 사료내 탄수화물은 구조 탄수화물인 ADF 혹은 NDF를 측정함으로써 구할 수 있다. 그러나 반추위내 최적의 미생물 성장

요구 조건은 사료내 분해성 단백질(DIP)과 함께 NFC의 균형적인 양이 충족되어야 한다. 사료내 NFC의 함량이 부족하면 미생물의 성장과 반추위내 사료의 소화 과정이 방해받게 되고, 반대로 과잉되면 산독증이나 원유의 저지방 현상이 발생한다.

지방 : 지방의 에너지 함량은 탄수화물보다 2.25배 높다. 많은 양의 우유나 대용유를 섭취하는 어린 송아지 사료에는 건물 기준으로 지방이 10~35%가량 함유되어 있다. 지방은 에너지의 밀도를 높이고 사료내 먼지가 발생하지 않도록 사료내 포함시킨다. 일반적으로 건물 기준으로 지방을 4%미만으로 하고 있다. 그러나 착유우의 경우, 지방이나 유지류의 최대 급여량을 전체 사료 중 7%를 넘지 않도록 해야 하는데 지나치게 많은 양의 지방 급여는 사료 섭취량을 저하시키고 우유내 지방과 단백질 함량을 떨어뜨리며 설사를 유발시킨다. 지방은 면실, 전지대두, 해바라기씨, 텔로우 및 여러 종류의 비활성 지방 산물 등을 통해 주로 공급된다.

표 2. 일반적인 지방 공급원의 지방산 구조

지방산	구조	텔로우	백색 그리스	황 그리스	돼지 기름	대두유
		% 지방산				
Myristic	C14:0	3.1	1.5	1.3	1.1	0.0
Palmitic	C16:0	25.8	23.5	17.6	23.8	11.5
Palmitoleic	C16:1	4.3	3.4	2.3	9.6	0.0
Stearic	C18:0	20.4	12.0	10.2	4.7	4.0
Oleic	C18:1	39.1	44.3	45.9	42.9	24.5
Linoleic	C18:2	2.3	10.7	20.3	16.8	53.0
Linolenic	C18:3	1.3	3.1	0.9	0.9	7.0
Total % unsaturated		49.0	62.2	69.9	70.4	84.5
Total % saturated		51.0	37.8	30.1	29.6	15.5
Ratio unsat/sat		1:1	1.6:1	2.4:1	2.4:1	5.4:1

Source : National Renderers Association (1992)

반추위의 불활성 상태 여부, 반추위 통과 후 소화 등과 관련된 것과 같이, 사료 섭취량을 결정하는데 있어 지방 공급원의 가장 큰 특징은 지방산의 구조에 의한 것이다. 지방은 지방산이나 트리글리세리드(지방의 油狀 부분)에서 유래한다. 종실유와 동물성 지방이 트리글리세리드의 대표지방으로, 트리글리세리드는 반추위 미생물에 의해 지방산과 글리세롤로 가수분해된다. 사료내 지방산 및 특수 지방은 포화 혹은 불포화의 형태이고, 탄소 14~18 범위의 연결 길이를 가지고 있다. 포화 지방산(미리스틱(myristic) C14:0, 팔리틱산(palmitic) C16:0, 스테아릭산(stearic) C18:0)은 상온에서 고체 형태여서 경질(硬質) 지방이라 한다. 텔로우는 포화 지방이지만 그 중 약 50%가 불포화 상태이다.

불포화 지방산 (palmitoleic C16:1, oleic C18:1, linoleic C18:2, and linolenic C18:3)은 액체 상태가 되는 온도가 다양하지만, 불포화의 양이 많아질수록 액체화 되는 온도는 낮아지게 된다. 면실과 대두의 불포화 지방산은 각각 71%와 85%이다. 그러나 식물성 지방인 종실유는 다른 지방을 둘러싸서 소화 속도를 저하시키며 반추위로부터 지방의 분비를 더디게 만들고, 미생물에 의한 불포화 지방산에서 포화 지방산으로의 전환을 더욱 빠르게 진행시킨다. 불포화 지방산은 포화지방산보다 반추위의 발효로부터 더 많은 방해받는다. 현재 시중에는 반추위 발효로부터 영향을 받지 않는 보호 지방이나 반추위 활성 지방이 제품으로 많이 유통되고 있다.

단백질 : 단백질은 체유지, 성장, 유생산을 위한 필수 영양소로, 아미노산의 형태로 동물체의 조직에 의해 이용된다. 아미노산은 미생물 단백질 및 반추위에서의 소화 과정에서 분해되지 않은 사료 단백질에 의해 공급된다.

이 글에서 사용되는 단백질 요구량은 조단백질(CP)의 양 혹은 건물내 퍼센트로 나타낸다. 조단백질은 6.25 fact(사료 단백질내 질소가 평균 16% 함유)에 의해 사료내 질소 함량의 증식에 의해 결정된다. 요소나 암모니아염과 같은 비단백태질소화합물(NPN)은 CP(조단백질)가를 가지고는 있는 것으로 여겨지지만, 직접적으로 아미노산을 공급하지는 않는다. 반추위내 미생물은 비단백태질소화합물로부터 질산을 아미노산으로 전환시킨다. 사료내 순단백질의 소화 과정에서 분해된 아미노산처럼, 소장내 미생물 단백질 소화 과정에서 흡수와 활용을 위해 아미노산이 분비된다.

일반적인 착유우 사료내 조단백질의 약 60%가 미생물의 소화 작용으로 인해 암모니아로 분해된다. 착유우가 단백질을 활용하기 위해서는 반추위 미생물에 의해 암모니아를 미생물 단백질로 전환시켜야 한다. 발효를 통해 미생물을 성장시키고 필요한 아미노산을 합성시켜야 한다. 반추위내 암모니아의 수준이 지나치게 높아지면 암모니아는 혈관으로 흡수되어 재순환되거나 뇨로 배출된다. 젖소가 섭취한 모든 사료 단백질원이 반추위에서 분해되지는 않는다. 반추위에서 활용 단백질은 3가지로 구분된다. 분해 단백질(DIP)은 반추위 미생물에 의해 암모니아 혹은 아미노산으로 분해되는 사료 단백질을 말하고, 그 중 용해 단백질(SIP)은 반추위에서 급속하게 분해되는 분해 단백질이다. 보통 용해 단백질(SIP)의 함량은 전체 분해 단백질(DIP)의 절반 정도를 차지하고 있다.

비분해 단백질(UIP)은 반추위 미생물에 의해 분해가 되지 않고 반추위를 통과할 때에도 변형이 일어나지 않는 부분이다. 다른 말로 비분해 단백질은 우회 단백질(by-pass 혹은 escape protein)이라고 불린다. 비분해, 용해, 분해 단백질은 건물내 함량(건물내 조단백질은 17%, 비분해 단백질은

6.8%) 혹은 조단백질내 함량(6.8/17로 비분해 단백질은 약 40%)으로 측정할 수 있다. 조단백질의 함량으로 표현되는 분해와 비분해의 총량은 100이 되어야 한다. 고능력우의 사료에는 조단백질이 19% 함유되어 있어야 한다. 이중 비분해 38%, 분해 단백질 62%(용해 단백질이 30%)가 각각 되어야 한다. 건물로 환산하면 CP(조단백질) 19%중 UIP(비분해 단백질)가 7.2%, DIP(전체 분해 단백질) 11.8%(SIP(보통 용해 단백질) 5.7%) 된다. 착유우에 있어 가장 이상적인 사료란 미생물 단백질 합성을 최대화 하기 위해 반추위 미생물의 질소 요구량이 충족되고, 소장에서 활용할 수 있는 우회 단백질의 양도 최대로 되어야 한다. 반추위 미생물에 의한 단백질 합성은 사료 섭취량, 유기물의 소화력, 사료 형태, 단백질 수준, 사양 방법에 의해 달라진다. 하루 평균 미생물 단백질의 최대 합성량이 약 2kg 정도 밖에 되질 않기 때문에, 그 나머지는 비분해 단백질원으로부터 추가적으로 충족되어야 한다. 성장 속도가 빠른 육성우와 고능력우에게는 필수 아미노산의 요구량을 충족시키기 위해 정상적인 사료 이외 추가적으로 비분해 단백질(UIP)을 급여해 주는 것이 바람직하다. 반추위 암모니아가 과잉되고 소장에서 이용되는 사료 단백질의 양이 부족할 때에는 맥주박, 주정박, 옥수수 글루텐, 열처리 대두 등 비분해 단백질의 공급이 필요하다.

비타민

생명 유지를 위해 필요한 비타민의 요구량은 아주 소량이고, 다른 영양소와의 화학적 반응 이외에는 단백질이나 에너지처럼 측정이 불가능하지만, 결핍시 명확한 외형적인 증상이 발생하고 빠른 시간내에 충족되지 않으면 증상은 더욱 심각해진다. 비타민은 크게 수용성과 지용성으로 구분할 수 있다. 수용성은 비타민 B群(티아민= B1, 리보플래빈 = B2, 나이아신, 판토펬산, 피리독신= B6, B12, 바이오틴, 폴릭산)으로, 일부에서는 콜린도 복합 B 군에 포함시키고 있다. 정상적인 사양 조건이라면 비타민 B는 개체 스스로 필요한 양만큼 반추위에서 충분한 양을 합성한다. 그러나 개체가 질병을 앓고 있거나, 스트레스의 정도가 크고 아주 어린 개체에게는 추가적으로 공급이 필요하다. 분만 2주 전부터 분만후 8~12주까지 나이아신 6g을 공급하면 케토시스를 예방하고 특히, 고능력우에 있어 지방간의 위험성을 줄일 수 있다. 또 다른 수용성 비타민인 비타민C는 스스로 체조직내에서 합성이 되므로 착유우에 있어 별도 급여의 필요성이 없다.

비타민 A(전구 물질인 카로틴)는 정상적인 시력, 번식, 호흡기 질환과 관련된 필수 영양소이다. 카로틴은 녹색 사료와 황색 옥수수에 다량 함유되어 있으며, 비타민 A 합성에 이용된다. 베타 카로틴 1

표 3. 사료내 지용성 비타민

종류	기능	결핍시 증상	주 공급원
A	시력; 세포 기능; 호흡기, 번식기관, 소화기관내 상피세포의 유지	야맹증; 피부병; 시력상실; 사산; 번식장애	카로틴 공급원; 녹색 조사료; 잎이 많은 건초; 옥수수사일리지; 비타민 합성제; 생선 기름
D	골격 형성과 발육; 칼슘과 인 흡수; 칼슘과 인의 대사 동원력	구루병, 골연화증	햇빛에 말린 건초; 생선간 기름; 합성제
E	산화방지제; 셀레늄 관련	원유의 산패취; 근육증; 백색근육증; 심장근육기형	알팔파; 곡물의 배아; 밀 배아유; 곡물; 합성제
K	혈액 응고	출혈; 곰팡이 스위트 클로버 질병	녹색 조사료; 소화기관에서 다량 합성

mg은 비타민 A의 400 IU를 공급한다. 광(光)비타민인 비타민D는 골격 성장, 발육, 칼슘과 인의 흡수와 대사와 관련이 있다. 동물이 직접적으로 햇빛을 못 받고 조사료(곡물) 급여가 여의치 않을 때 비타민D를 급여해야 한다. 동물성 비타민 D3와 식물성 비타민 D2는 생물학적으로 착유우에 동일한 작용을 한다. 비타민E는 산화억제제로 원유의 이취를 줄이고 어린 송아지의 백색 근육증, 준임상형 유방염의 감염 정도를 완화시키며, 번식 능력의 개선과 면역 체계를 자극시키는 역할을 하고 있다. 알파 토크페롤 1mg은 비타민 E 1IU와 동일한 효과를 가지고 있다. 일반적으로 비타민K는 반추위와 장기내에서 상당량 합성된다. 곰팡이성 스위트 클로버와 관련된 출혈은 비타민 K 결핍으로 발생한다. 보통 대부분의 비타민은 사료로 공급이 되지만 추가적으로 필요할 때에는 외부 주사를 통해서도 공급이 가능하다.

광물질

광물질은 구조적인 기능과 조절적인 기능이 있으며 골격, 치아 형성, 호르몬 작용, 효소 기능, 수분 균형에 필요한 영양소이다. 호르몬과 헤모글로빈과 관련된 기능은 구조적인 부분이다. 착유우에 있어 다량으로 필요한 광물질은 칼슘, 인, 마그네슘, 나트륨, 염소, 황, 칼륨 등이고, 나트륨과 염소는 소금 형태로 공급이 가능하다. 미량 광물질로는 철, 구리, 마그네슘, 아연, 요오드, 코발트, 셀레늄 등이 있다. 나트륨, 칼륨, 염화물, 황은 강력한 이온(ion) 광물질로 젖소에 있어 산-염기 균형에 많은 영향을 미친다. 용해물내 pH 7을 기준으로 이를 초과되면 양이온이 많은 상태이고, 기준 이하이면 음이온이 많은 상태가 된다. 사료내 양이온과 음이온간의 차이는 밀리당(milliequivalent=meq)으로 표현하고 대표적인 이온인 Na, K, Cl, S의 함량을 이용해서 계산할 수 있다.

건물내 양이온-음이온간 차이

(meq/100 grams =)

$$(\%Na/.023) + (\%K/.039)] - [(\%Cl/.0355) + (\%S/.016)]$$

임신 후기에 음 이온 사료를 급여하면 칼슘의 대사 변환 과정에서 유열의 발병 가능성이 줄어들고, 비유 후기에는 지속적으로 우유로 광물질이 유출되었기 때문에 이를 보충하기 위해 양이온 사료의 급여가 필요하다. 광물질간의 상호 작용으로 인해 특정 광물질이 과잉되는 현상은 피해야 한다. 예를 들어 구리는 소량으로 필요하지만 다량으로 공급되면 독성으로 작용한다.

수분

수분은 젖소에 있어 가장 많은 양이 요구되는 영양소이다. 성장, 체유지, 임신, 우유 생산을 위해 필요한 수분 양은 아래표에 나와있다.

수분 섭취량 (갤런/일) =

$$4.22 + (0.19 \times \text{건물섭취량}) + (0.108 \times \text{산유량(파운드)}) + (0.374 \times \text{나트륨 함량}) + (0.06 \times \text{일 최저 기온(화씨)})$$

젖소는 언제든지 신선한 물을 마음껏 섭취할 수 있어야 하지만, 세균이나 질소에 오염될 수 있고 설파에 의해 건강상의 문제가 야기되기도 한다. ☹

TABLE 5. 음수량

체중 (kg)	산유량 (kg)	온도 (℃)		
		4℃	15℃	27℃
		리터/일		
초임유				
91	?	8	10	13
181	?	14	17	23
363	?	24	30	40
544	?	33	41	55
건유유				
635	?	37	45	61
726	?	39	49	65
착유유 ^b				
635	9	45	55	68
	27	83	99	94
	36	102	121	147
	45	121	143	173

표 A. 수질 기준

구분	허용치	과잉시 발생하는 문제점
pH	6.0-8.0	수분 섭취량 감소, pH 8.5 이상은 알칼리 혈증 유발
총용존고형물(TDS) Total Soluble Salts (TSS) Salinity	0-1000 ppm	3000 ppm 이상시 일시적인 설사 발생 물 섭취를 거부하고 지속적인 설사 증상
경도	0-120 ppm	특이한 증상 없음
철	0-3000 ppm	섭취량 감소
질산염	0-100 ppm	
아질산성질소	0-10 ppm	유산
설파	0-500 ppm	수분 섭취 거부, 설사
세균수	0-1000/ml	건강상 문제 발생
대장균수	0-50/100ml	

*ppm (parts per million) = 1 milligram/liter (mg/l); 1 grain = 17.1 ppm

