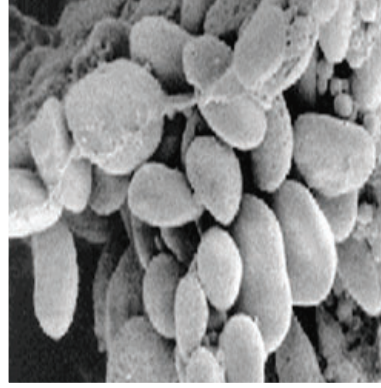




제3장

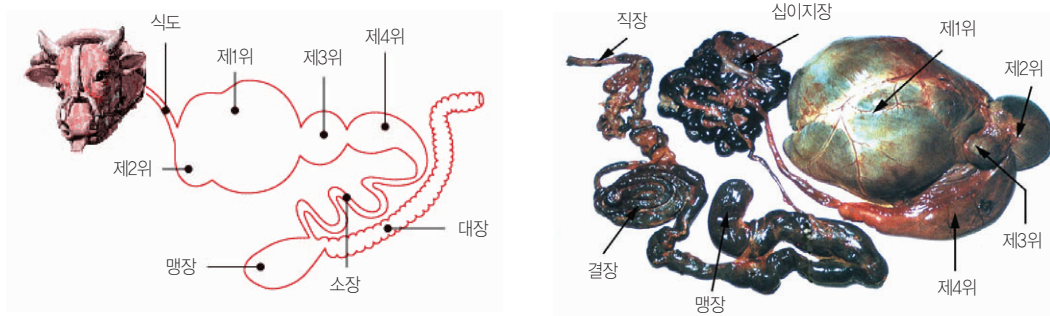
한우의 영양 및 대사

- 송만강 (충북대학교) 011-9407-2545
mksong@chnu.ac.kr
- 이상석 (순천대학교) 010-2776-1187
rumen@snu.kr
- 오영균 (국립축산과학원) 010-2390-1665
oh665@rda.go.kr

I. 한우의 주요 소화기관

1. 소화기관의 형태

한우의 소화기관은 입으로부터 식도, 반추위(1위와 2위), 3위, 4위, 소장, 대장 그리고 항문에 이르는 긴 관으로 구성되어 있으며, 주로 영양소의 섭취, 소화와 흡수 및 최종적으로 흡수되지 않은 사료의 배설작용이 이루어진다. 소화기관의 기본기능은 가축이 섭취한 사료를 화학물질로 전환시켜 한우의 성장, 비육, 비유생산과 번식에 이용할 수 있는 영양소를 혈액 내로 흡수할 수 있도록 하는 데 있다. 사료의 소화 과정은 입에서 타액과 함께 사료의 저작이 이루어지며, 식도를 거쳐 입에서 반추위로 이동한 내용물은 반추위 내 미생물과 여러 가지 소화 효소에 의한 사료의 분해과정을 거친다. 반추위를 거쳐 3위에 도달한 내용물은 4위에 도달하기 전에 그 속에 남아 있는 물, 암모니아, 휘발성 지방산(VFA, Volatile Fatty Acids)과 중탄산염(HCO_3^-) 및 무기물을 흡수한다. 한우의 제4위는 제3위와 연결되어 있으며 제1, 2위의 우측, 제3위의 아래쪽에 위치하며 복강의 하부에 붙어 있고 십이지장을 향해 뻗어 있다. 한우의 4위는 단위동물의 위와 비슷하며 효소, 산, 그리고 점막액의 분비를 통해 사료를 분해한다.



〈그림 1〉 한우의 주요 소화기관 분류

한우의 소장은 긴 장관으로 십이지장, 공장, 그리고 회장으로 구성되어 있다. 소장이란 대장에 비하여 소화관의 길이가 가는 것에서 유래한 말로서 복강의 우측상부에 위치하고 있다. 주로 췌장액의 효소와 장 내용물이 잘 혼합되도록 하여 탄수화물, 지방 그리고 단백질의 소화

관 내 소화를 돕고 소화된 영양분이 천천히 대장으로 넘어가게 함으로써 소장의 점막과 접촉하는 기회를 많게 하여 소화물의 흡수가 충분히 일어나게 한다. 대장은 맹장, 결장과 직장으로 구성되어 있으며 소장에서 소화·흡수되지 않은 유기물질을 발효시키는 장소이다. 주로 미생물에 의해 소화가 일어나며 수분과 전해질이 흡수되고 분해되지 않은 대변의 저장장소이기도 하다. 이외에도 소화기관 내에서 소화과정을 도와주는 부속 소화기관으로 간, 췌장 및 담낭이 연결되어 소화작용을 돕고 있다.

2. 입의 주요 기능

한우의 입에서는 사료의 섭취, 저작, 연하 및 반추작용이 일어난다. 흑염소나 면양, 사슴에 비해 훨씬 다양한 사료를 섭취할 수 있는 특성을 지닌 한우는 사료를 섭취한 후 사료를 타액과 함께 물리적으로 분해하는 저작과정(씹는 행동)을 거친다. 소의 타액은 하루에 평균적으로 약 150L가 분비되며 주로 사료를 채식할 때와 반추할 때 가장 많이 분비된다. 소 타액의 역할은 사료의 저작과 식괴(사료덩이)의 형성 및 삼킴작용을 돕는 기능을 가지고 있다. 이외에도 효소의 생산, 알칼리성 타액을 분비하여 반추위 내 산성화를 막기 위한 중화제로서의 기능, 수분공급과 조절기능, 고창증 예방 등 다양한 역할을 하고 있다. 입에서의 저작이 끝나면 덩어리진 식괴(사료덩이)는 식도를 따라 위부위로 넘기는 연하작용이 일어난다. 마지막으로 반추는 입자가 큰 사료를 반추위에서 걸러내어 만든 식괴를 입으로 게움질하여 다시 씹는 행위를 말한다. 게움질에서 반추까지의 과정을 요약하면 다음과 같다. 먼저, 공기의 흡입을 증가시키고 횡격막을 수축시켜 식도에 음압을 형성시킨다. 이때 식괴가 식도로 빨려 나오고 식괴의 수분을 다시 삼킨 다음 반추를 시작한다. 입으로 역출되는 식괴는 대부분 입자가 큰 조사료와 위액으로 구성되어 있다.

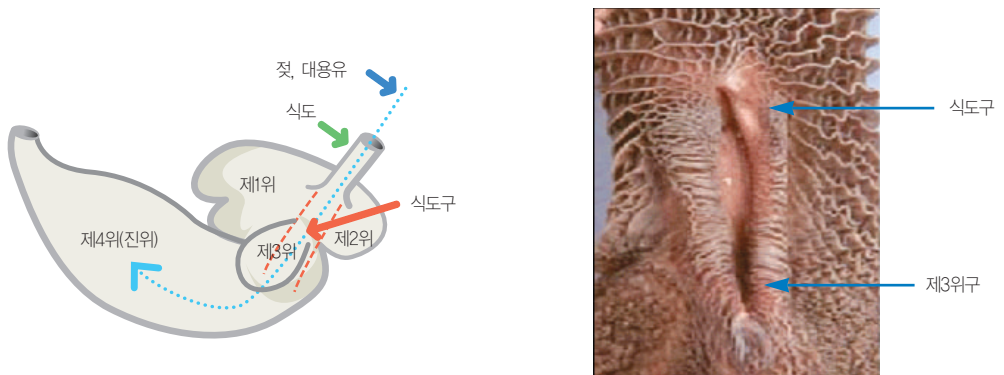
반추작용은 사료입자의 크기를 작게 하여 표면적을 크게 해 줌으로써 미생물에 의한 사료의 분해를 돕고 아울러 분해되기 어려운 사료의 입자를 작게 만들어 반추위에서 제3위로 내보내어 새로운 사료를 섭취할 수 있도록 공간을 확보하는 데 그 의의가 있다. 또한 토출하여 재저작하는 식괴는 다시 분비된 타액과 혼합되게 되어 다시 삼켜지게 되기 때문에 반추위 내에서의 수분 흡착에 도움을 준다. 소는 대체로 1개의 식괴에 대하여 40~50초간 반추하며 조사료의 섭취량에 따라 다르지만 1일 6~10시간 반추한다. 반추시간은 섭취하는 사료에 따라 다르지만 조사료의 세포벽 구성물질의 함량에 비례한다. 농후사료나 분쇄 또는 펠렛팅한 건초의 반추시간은 짧고 세포벽 구성 물질이 많이 함유되어 있는 조사료를 급여하면 반추시간이 길어진다. 다시 삼킨 식괴는 분문부를 통해 전낭 또는 배낭으로 들어가게 된다.

3. 식도

식도는 입과 위를 연결해 주는 기관으로 근육성의 직선으로 된 긴 관으로 이루어져 있다. 소의 식도길이는 약 90~105cm이며 중층 상피세포로 이루어진 분비세포가 없는 유일한 기관이다. 한우가 섭취한 사료는 입에서 저작과정을 거쳐 연동운동을 통해 식도에서 반추위로 넘어간다. 연동운동이란 평활근의 수축과 이완에 의해 어느 한 방향으로 운동성이 생겨나게 됨으로써 사료덩이를 소화관을 통해 움직이게 하는 것을 말한다. 음식물이 통과할 때는 식도는 편평하지만 음식물이 통과하지 않을 때는 폐쇄되어 있으며 주름이 서로 접하여 있다.

젖이나 대용유 같은 액상사료를 먹는 어린 송아지에게는 섭취한 액상사료가 반추위를 거치지 않고 제3위로 직접 이동하게끔 유도하는 특수 조직이 있는데, 이를 식도구(食道溝)라 한다(그림 2). 식도구는 식도의 끝 부분인 분문을 시발점으로 하여 제3위구에서 끝나며 그 길이는 20~25cm 정도 되는데 식도구가 수축함으로써 섭취한 액상 내용물이 식도에서 반추위를 거치지 않고 바로 제3위로 이전되도록 하는 기능을 가진다. 식도구는 두 번의 서로 다른 움직임으로 수축을 한다. 먼저 짧은 시간 동안 오른쪽과 왼쪽의 입술 모양의 가장자리가 강하게 접히게 되고 이후 한쪽(주로 오른쪽) 가장자리가 나머지를 덮게 되면 식도구는 반추위와 단절되게 되고 이때 섭취한 액상물질의 약 75~90%가 제4위로 이전되게 된다.

어린 송아지에게 있어 식도구는 섭취한 젖이나 액상형태의 사료가 발달되지 않은 반추위에서 비정상적으로 발효되는 것을 방지함으로써 영양소의 손실을 줄이는 작용을 한다. 그러나 송아지가 고형사료를 섭취함에 따라 반추위가 발달되고 식도구는 퇴화되어 성우(큰 소)의 경우 흔적만 남게 된다.



〈그림 2〉 식도구의 위치와 연결부위

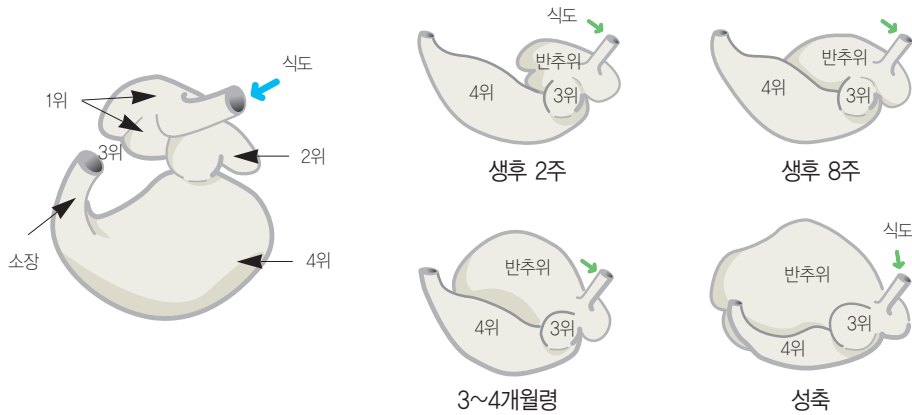
4. 위의 구성과 기능

한우의 영양생리에서 위의 구조와 기능을 이해하는 것은 매우 중요하다. 위는 4개의 부위(部位)로 구성되어 있는데, 이들 각각의 부위를 제1위(rumen), 제2위(reticulum), 제3위(omasum) 그리고 제4위(abomasum)라 부른다. 성우의 경우 위는 복부강의 75~80%를 차지하고 체적의 15~20%에 달할 만큼 크며, 내용물의 왕래가 자유로워 같은 기능을 하는 제1위와 제2위는 반추위라 부르며 복강의 왼쪽에 위치하고 제3위와 제4위는 복강의 오른쪽에 위치하고 있다. 제1위, 제2위 및 제3위를 전위(前胃)라 하며 제4위는 기능상 단위동물의 위와 비슷하여 진위(眞胃)라고도 한다. 제1위, 2위 및 3위는 같은 발생조직으로부터 발달되었으며 조직학적으로 각질화된 성층 비늘모양의 상피세포로 분류되며 분비선이 없고 점액을 생산하지 않는다(Lavker 등, 1969).

한우의 위는 곡류나 동물성 사료보다는 풀을 이용하기에 매우 적합한 형태로 발달되어 왔다. 즉 단위동물의 위로는 소화시키기 어려운 질기고 딱딱하여 에너지 밀도가 낮은 조사료를 분해하고 소화시킬 수 있는 특이한 위의 구조를 가졌다. 그 대표적인 역할을 하는 곳이 반추위라는 곳이다. 반추위 내에는 사료를 분해할 수 있는 여러 종류의 미생물이 서식하고 있으며, 이들 미생물은 사료를 분해시켜 그로부터 유리된 영양분을 취할 수 있도록 발달되었다. 젖이나 액상사료를 먹는 송아지의 경우 섭취하는 사료가 제1위 및 제2위를 거치지 않고 분문으로부터 시작되는 식도구를 통해 액상사료가 우선적으로 제3위를 거쳐 제4위로 이동하여 소화되므로 제4위가 가장 잘 발달되어 있으며, 그 기능은 사료의 종류 및 급여형태에 따라 생후 2~3개월까지 계속된다. 어린 송아지의 제4위는 고지방(20~25%) 사료에 잘 적응하지만 큰 소에 비하여 유당을 제외한 탄수화물을 소화할 수 있는 기능이 떨어진다. 송아지가 고형사료를 섭취하기 시작하면서 반추위가 빠르게 발달하여 미생물의 군락이 형성되어 가축이 섭취한 사료를 미생물이 일차적으로 분해·소화시키는 역할을 하며 6개월이 되면 중량의 비율이 성우와 비슷하게 된다(표 1).

〈표-1〉 거세 한우의 생후 월령별 위 중량변화

구분 (개월령)	반추위(제1위+2위)		제3위		제4위	
	중량(kg)	비율(%)	중량(kg)	비율(%)	중량(kg)	비율(%)
0	0.16	37.2	0.07	16.3	0.20	46.5
6	3.11	66.7	0.90	19.3	0.65	13.9
12	5.35	68.1	1.45	18.4	1.06	13.5
18	6.61	66.2	1.93	19.3	1.44	14.4
24	7.74	68.3	1.72	15.2	1.88	16.6



〈그림 3〉 연령 변화에 따른 소의 위 상대적 크기

4.1. 반추위

반추위는 제1위와 제2위를 통칭하는 것으로 제1·2위 추벽에 의해 제1위의 전낭과 제2위 아래쪽 일부가 분리되어 있지만 위쪽 부분은 분리되어 있지 않아 위 내용물이 서로 왕래하거나 미생물이 활동하는 점에서는 기능이 비슷하다. 성우의 제1위는 횡격막에서 골반에 이르기까지 널리 위치하고 있으며 전체 위용적의 60~85%를 차지하고 반추위 내 각종 혐기성 미생물이 섭취한 사료를 분해시키는 생체 발효조라 할 수 있다. 제1위의 내부 표면은 길이가 0.5~1.5cm 길이의 작은 돌기모양인 융모로 덮여 있으며, 이들의 주요 기능은 탄수화물의 발효에 의해 생성된 휘발성지방산 및 젖산과 암모니아 같은 최종 발효부산물을 흡수하는 것이다. 제1위벽의 위치에 따라 융모의 발달정도가 다른데, 일반적으로 위 내용물이 접촉되는 부위인 복부와 측면의 융모가 잘 발달된 반면 등 쪽에는 거의 발달되어 있지 않다. 융모의 발달이 잘되면 휘발성 지방산의 흡수속도가 빨라지고, 또한 반추위 내 산도가 정상 이하로 떨어지는 것을 방지할 수 있다.



반추위의 구조

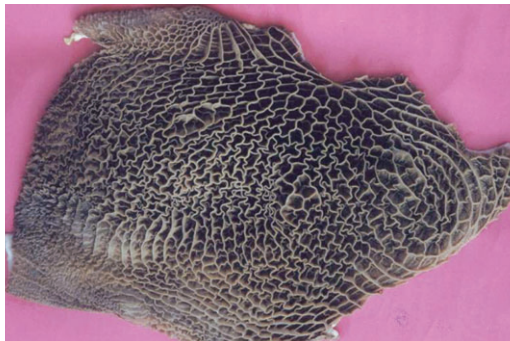


조사료급여시 반추위형태

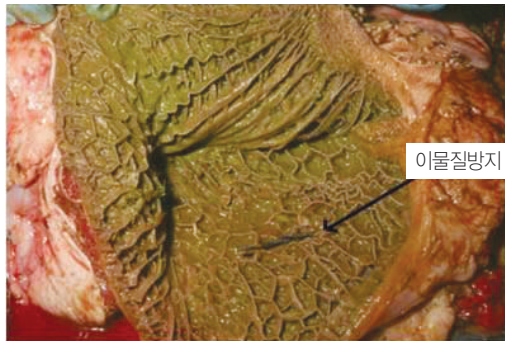
〈그림 4〉 반추위에 서식하는 미생물의 전자 현미경 사진

반추위는 다양한 근주(pillar)에 의해 여러 개의 낭으로 구성되어 있다. 제1·2위 추벽에 의해 전낭과 제2위의 일부가 분리되어 있으며, 전낭근주(cranial pillar)가 전낭(cranial sac)과 복낭(ventral sac)으로 나누고 있다. 세로근주(longitudinal pillar)에 의해 배낭(dorsal sac)과 복낭, 후배맹낭(dorsal blind sac)과 후복맹낭(ventral blind sac)이 구분되며, 배낭근주(dorsal coronary pillar)와 복낭근주(ventral coronary pillar)에 의해 배낭과 후배맹낭, 복낭과 후복맹낭이 각각 구분된다. 근주는 두꺼운 근육 조직으로 각 낭(sac)의 수축과 반추위 내 소화물을 순환시키는 기능을 가진다. 분문(cardia)은 반추위에 위치한 식도의 마지막 부분으로 갈라진 틈새와 유사한 형태로 약 2.5cm의 높이를 가지고 있다. 분문은 또한 식도구(esophageal groove)의 시작점이기도 하다.

제2위는 표면의 상피세포가 주름을 형성하여 벌집 모양의 융기로 되어 있어 벌집위라 부른다(그림 5). 미생물의 활동 면에서 제1위와 차이가 없으나 발효부산물의 흡수능력이 거의 없는 대신 식도와 연결되어 있어 사료와 함께 유입될 수 있는 비중이 큰 이물질(철사, 못 등)에 대해 벌집구조가 제 역할을 하여 다른 부위로 이전되지 못하도록 한다.



제2위

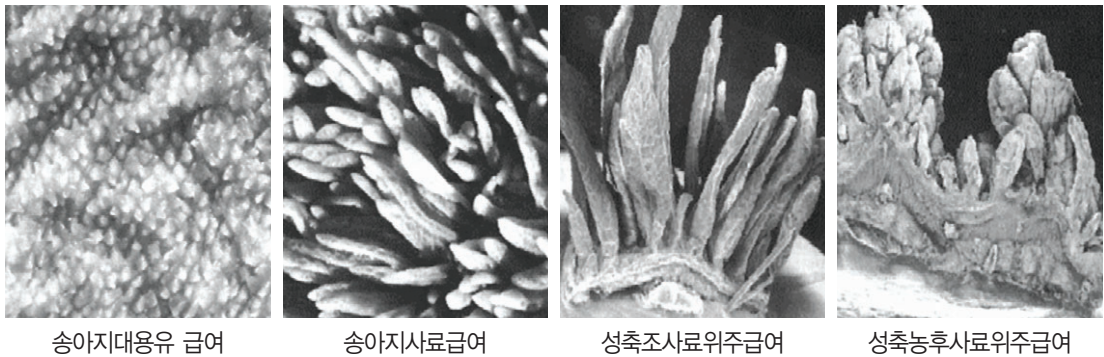


제2위 이물질 이전방지

〈그림 5〉 제2위(벌집위)의 구조와 기능

반추위 내 용모는 축종, 성장단계 및 조사료와 농후사료의 급여비율, 사료의 섭취습관, 조사료의 종류 등에 따라서 그 모양이 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 즉 휘발성지방산 생성량이 더 많아지는 경우에는 유두돌기의 발달이 촉진되는데, 동일한 중량에서는 조사료보다 에너지 밀도가 높은 농후사료를 섭취할 때가 이에 해당한다. 이에 비하여 조사료 위주로 섭취하면 위벽의 자극을 통한 유두돌기의 발달보다는 반추위 용적의 크기가 증가된다.

반추위의 용적 발달은 생성된 휘발성지방산에 의해서도 영향을 받는데, 동일한 농도에서는 낙산이 반추위의 발달을 가장 크게 촉진시키며 그 다음으로는 프로피온산, 초산의 순으로 발달시킨다. 그러나 소화되기 쉬운 농후사료의 과다한 섭취는 오히려 반추위 내 산도를 높여 유두돌기의 각질화를 유발시키는 등 반추위의 발달을 저해시킨다.



자료 : 한우 사육길잡이(2002)

〈그림 6〉 사료급여조건에 따른 반추위 내 용모의 변화

4.2. 제3위

소의 제3위는 여러 겹의 모양이 둥근 근육조직으로 구성되어 있어 이를 겹주름위 또는 천엽이라 부른다(그림 7). 제3위 내부는 많은 엽편(葉片)으로 채워져 있는데 일반적으로 89~192개의 엽편이 존재한다. 엽편 사이에는 다소 미세하게 분쇄된 소화물이 가득 차 있게 된다. 제3위는 반추위 내용물이 제4위로 빠르게 이동하는 것을 조절하며, 넓은 표면에 분포된 많은 용모를 이용하여 유입된 물의 50~60%와 휘발성지방산의 40%, Na, K 및 기타 무기이온을 흡수한다. 다량의 수분을 흡수하는 이유는 제2위로부터 넘어온 다량의 수분이 그대로 제4위로 넘어가면 제4위의 염산을 희석시켜 소화율을 낮추기 때문이다. 또한 겹주름위가 그물망의 역할을 함과 동시에 수많은 작은 용모로 덮여 있어 입자가 큰 물질이 4위로 내려가는 것을 방지한다.

4.3. 제4위

한우의 제4위는 단위동물의 위와 같은 작용을 하는 부위로서 기저부와 유문부로 구성되어 있다(그림 7). 어린 송아지의 경우 제1위, 2위 및 3위가 발달되지 않아 포유 중일 때의 소화기능은 주로 4위와 소장에서 이루어진다. 주로 3위와 연결된 상단부에 위치한 기저부에는 점액막이 있어 소화액이 분비되고 표면적을 크게 넓혀 분비세포의 증식을 가능케 하는 많은 나선형 주름이 존재하는 반면 십이지장과 연결된 하단부의 유문부에서는 분비세포가 거의 없어 소화액이 분비되지 않는다. 제4위에서는 pH가 낮아(2.0~3.0) 이곳으로 유입된 반추위 내용물이 더 이상 반추위미생물에 의해 발효되지 않게 되며, 우선적으로 단백질 소화가 이루어진다. 어린 송아지의 경우 제4위가 전체 위의 55~60%를 차지하나 그 비율은 성장하면서 반추위 발달로 인해 줄어들게 된다.



제3위(그물위)



제4위(진위)

〈그림 7〉 한우의 제3위와 제4위

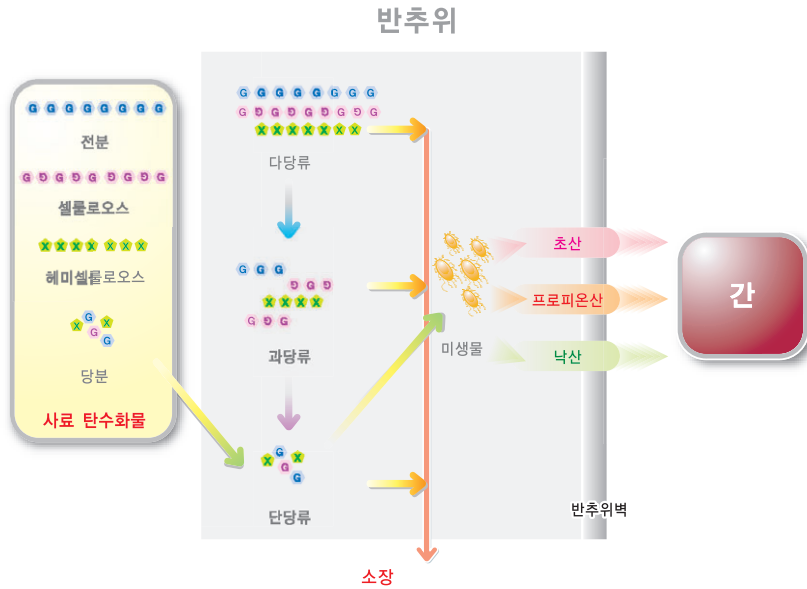
Ⅱ. 한우의 영양소의 종류와 대사과정

한우가 섭취하는 사료에는 탄수화물, 단백질, 지방, 비타민 및 광물질 등이 주로 함유되어 있으며, 한우의 성장단계에 따라 영양소의 급여조건이 크게 달라진다. 대부분 섭취한 영양소는 유지를 비롯한 성장, 번식, 비육 등을 위해 이용되므로 한우에게 적절한 영양소를 공급하는 것이 한우의 생산성을 높이는 데 있어 가장 기본이 되는 부분이다. 특히 고급육을 생산하는 데 기준이 되는 육질과 육량을 향상시키기 위해 사용되는 대부분의 기술이 한우의 사료 내 영양소 성분의 이용률에 바탕을 둔 사료의 배합과 급여방법을 기초로 한다는 것에 유의해야 한다.

1. 탄수화물

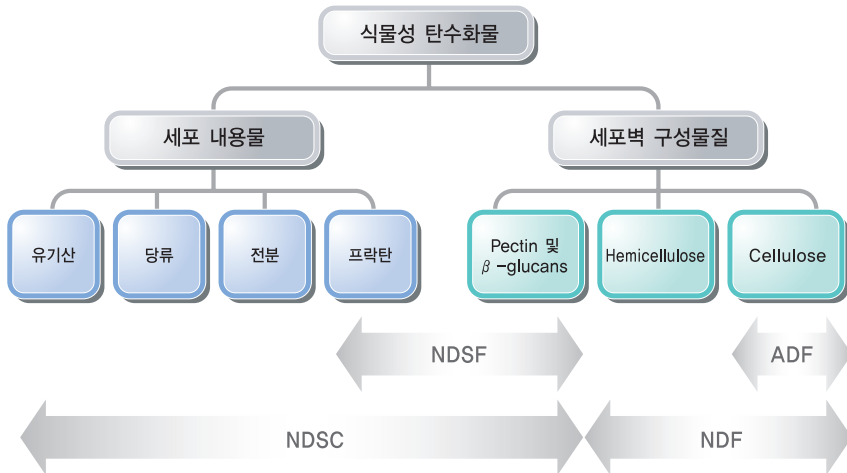
탄수화물은 양적인 면에서 한우의 영양상 매우 중요한 물질이다. 일반적으로 한우에게 주로 이용되는 탄수화물은 청초, 건초, 짚류, 청예작물, 사일리지 등의 조사료가 대표적이다. 한우가 섭취하는 사료의 약 75%가 탄수화물로 구성되어 있으며 주로 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 및 전분 등의 다당류로 존재한다. 또한 식물성 탄수화물은 세포벽을 구성하고 있는 구조 탄수화물과 세포 내용물 중심의 비구조 탄수화물로 구분되기도 하는데, 소화가 잘되지 않고 주로 조사료에 함유되어 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스는 구조 탄수화물에 속하며 반추위 내에서 미생물에 의하여 천천히 분해되는 특성을 갖고 있고, 곡류에 많이 포함되어 있는 전분과 당 등은 비구조 탄수화물로서 반추위 내에서 쉽게 분해된다(그림 8). 그러나 구조탄수화물 중 펙틴은 비교적 분해가 잘되는 편이다.

식물성 사료에 가장 많은 부분을 차지하는 탄수화물 주요 성분의 특성은 다음과 같다.



자료 : 한우 사육길잡이(2002)

〈그림 8〉 사료 탄수화물의 분해와 이동



ADF (Acid detergent fiber) : 산성세제 불용성 섬유소

NDF (Neutral detergent fiber) : 중성세제 불용성 섬유소

NDSF (Neutral detergent soluble fiber) : 중성세제 용해성 섬유소

NDSC (Neutral detergent soluble carbohydrate) : 중성세제 용해성 탄수화물
 $= 100 - (\text{조단백질} + \text{NDF} + \text{조지방} + \text{조회분})$

〈그림 9〉 탄수화물의 종류, 구조탄수화물 및 비구조탄수화물

1.1. 전분

일반적으로 전분은 녹색식물에 존재하는 다당류로서 곡류에 가장 많이 포함되어 있는 성분이며 뿌리와 잎 등에도 다소 포함되어 있다. 전분은 광합성의 결과로 잎의 엽록체 속에서 생기는데 이 광합성 된 전분을 동화전분이라 부르며, 동화전분은 저분자화되어 수크로오스 형태로 식물의 뿌리, 줄기 및 씨 등의 저장장소에 운반되고 여기에서 다시 전분으로 합성된다. 이 저장되어 있는 전분은 저장전분이라 불리며, 전분분자가 다수 집합한 전분입자로 입자 모양 구조를 이루고 있다. 전분은 아밀로오스와 아밀로펙틴으로 구성되어 있는데, 아밀로오스는 포도당들이 직선 형태로 중합체를 이루고 있는 형태이며, 아밀로펙틴의 경우는 아밀로오스가 분기구조를 형성하고 있는 분자중합체로 존재하고 있다.

전분입자는 물에 잘 녹지 않으며 일정한 양의 수분이 함유된 상태에서 열을 가해줄 경우 부풀림 현상이 일어나는데 이를 젤라틴화라 한다. 이러한 젤라틴화는 열처리에 의해 전분입자의 벽이 파괴됨으로써 나타나는 현상이며 전분의 소화율을 높이는 데 기여한다. 익스트루전, 증기박편 및 롤링 등 여러 가지 방법에 의해 곡물을 가공하면 전분분자가 젤라틴화되고 가축에 의한 소화율 및 이용성이 증진된다. 그러나 화학적 특성의 차이로 인하여 전분의 소화율이 다를 수 있는데, 보리와 밀 등의 곡류와 고구마 전분은 90% 이상 소화되지만 감자의 전분은 열처리를 하지 않는 한 소화율이 매우 낮다. 또한 일반 곡류에 비하여 옥수수 전분의 소화속도도 낮다.

1.2. 셀룰로오스

식물의 줄기와 잎에 많이 포함되어 있는 셀룰로오스는 모든 식물의 건물기준 20~40%를 차지하고 있는 가장 풍부한 탄수화물이며, 일반적으로 헤미셀룰로오스 및 리그닌과 복합체를 형성하고 있다. 반추동물의 소화기관에서 분비되는 소화효소로는 셀룰로오스를 소화시킬 수 없으나 반추위 내에 서식하는 미생물이 셀룰라아제와 헤미셀룰라아제 등의 효소를 분비하여 소화시킬 수 있다. 식물 중 목화섬유소의 경우 셀룰로오스가 90% 이상을 차지하고 있으나 조사료용 목초와 작물 부산물의 셀룰로오스 함량은 20~40% 정도이다. 반추동물에 있어 식물체 내 셀룰로오스의 영양적 가치는 복합체로 구성되는 리그닌 및 실리카의 함량에 의해 좌우되며 셀룰로오스의 소화율은 30~90%에 달한다.

1.3. 헤미셀룰로오스

헤미셀룰로오스는 여러 가지 당과 우론산으로 구성되는데, 식물의 종류에 따라 구성성분이 다양하다. 헤미셀룰로오스의 당은 다당류인 자일란이 주요 성분으로 되어 있다. 헤미셀룰로오스는 물에 녹지 않으며 일반적으로 셀룰로오스 및 리그닌과 복합체를 형성한다. 헤미셀룰로오스는 glucosiduronidase 또는 arabinofuranosidase에 의해 분해되는데, 반추위에서는 오히려 셀룰로오스보다 소화율이 낮은 것으로 알려져 있다.

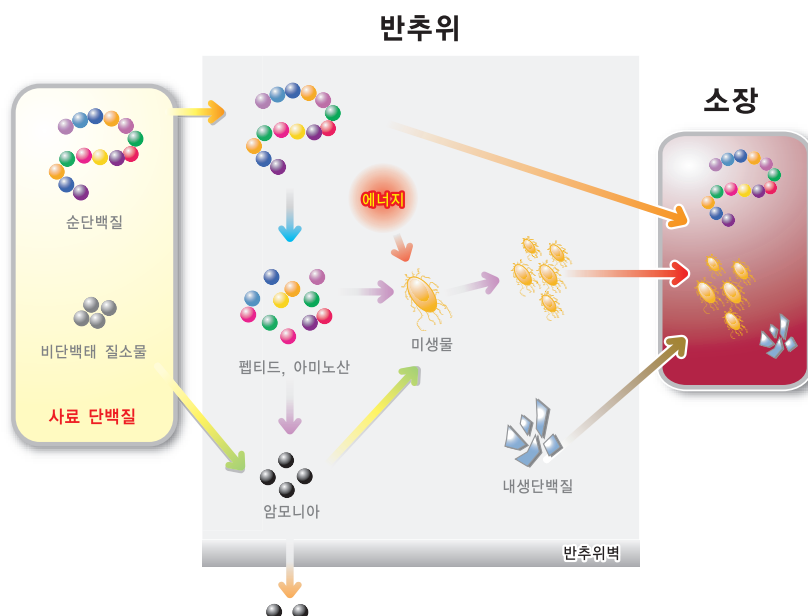
2. 단백질

사료로 공급되는 질소(N) 화합물은 크게 단백질과 비단백태질소화합물(non-protein nitrogen, NPN)로 구분된다. 반추동물에 공급되는 질소 화합물의 종류는 매우 많은데, 아미노산 조성이 다른 다양한 단백질, 피리미딘과 퓨린 염기를 가지는 핵산과 아미노산, 펩타이드, 아미드, 아민류, 요소와 같은 비단백태질소화합물 등이 있다. 조사료의 경우 순 단백질이 총 질소의 60~80%이고 나머지의 대부분은 가용성 비단백태질소화합물이다. 목초의 가용성 비단백태질소화합물은 나이트레이트, 글루타민 및 아스파라진과 같은 비필수 아미노산으로 구성되어 있다. 이 중 나이트레이트는 질소성 비료가 다량 살포된 곳이나 부적절한 환경에서 자란 목초에 많이 포함된다. 조사료 내 단백질은 조사료의 성장조건 및 수확시기에 따라 큰 차이를 보인다. 콩과식물의 단백질에는 주로 글로불린과 알부민이 포함되어 있으며, 사일리지에는 암모니아 및 아민 등이 포함되어 있다. 한편, 옥수수과 밀 같은 곡류사료의 단백질은 순 단백질의 함량이 높고 제1위 내에서 비교적 빨리 분해되기 때문에 미생물의 성장에 필요한 펩타이드, 아미노산 및 암모니아를 적절히 공급해 주며, 상당량의 프롤라민과 글루테린 등의 비단백태질소화합물 또한 포함되어 있다. 사료의 비단백태질소화합물 함량을 보면, 종실에는 4~5%, 어린 목초에는 6~7% 그리고 사일리지에는 50~70% 정도이다.

단백질은 반추위 내에서의 분해 정도에 따라 A, B₁, B₂, B₃ 및 C 분획으로 나누는데, 반추위 내에 유입되는 순간 바로 분해되어 이용되는 암모니아, 나이트레이트, 아미노산 및 펩타이드(A 분획), 반추위 내 분해속도가 200~300%/h로 빠른 글로불린과 알부민 일부(B₁ 분획), 분해속도가 5~15%/h로 느린 대부분의 알부민과 글루테린(B₂ 분획), 열에 변성되었지만 마일라드 반응을 일으키지 않은 단백질로 반추위 내에서의 분해속도가 매우 느린 프로타민과 세포벽에 포함된 단백질(B₃ 분획) 및 열에 의해 변성되어 마일라드 반응을 일으키거나 리그닌과

결합되어 반추위에서 이용되지 못하는 단백질(C 분획)로 구분된다.

일반적으로 사료단백질은 반추위 내 박테리아의 분해작용과 미생물에 의해 분비된 단백질 분해효소에 의해 펩타이드를 거쳐 아미노산으로 되며, 아미노산은 다시 암모니아 및 휘발성 지방산으로 전환된다. 반추위 내에서 생성된 아미노산과 암모니아는 대부분 미생물의 질소원으로 이용되어 미생물체 단백질로 합성된다. 반추위 내에서 합성된 미생물체 단백질과 미분해된 단백질은 제4위와 소장으로 유입되어 단백질 분해효소에 의해 아미노산으로 되어 최종 이용된다(그림 10).



자료 : 한우길잡이(2002)

〈그림 10〉 사료 단백질의 반추위 내 분해과정

3. 지질

지방은 사료 내 에너지 밀도를 높이고자 주로 이용되며 지용성 영양소의 흡수 증가 및 사료의 분진 감소 등의 부가적 이득을 가져온다. 지방이란 말은 중성지방, 인지질, 비에스테르화 지방산 및 지방산염을 함유하는 장쇄지방산이 높은 화합물을 나타낼 때 일반적으로 이용된다. 그중 장쇄지방산이 지방에서 에너지가 가장 풍부한 부분이다

반추동물은 조사료와 종실뿐만 아니라 첨가제로 이용되는 동물성 지방, 건조분말형 및 보호지방 등 다양한 형태로부터 지질을 섭취한다. 조사료에는 갈락토리피드가 약 50% 정도 함유되어 있고 지방산 구성이 전체 지질성 물질의 50% 이하이며 리놀렌산, 리놀레인산과 같은 불포화지방산이 주류를 이루고 있다. 이밖에도 인지질, 왁스, 클로로필, 카로티노이드 및 스테롤 등이 포함되어 있다. 일반적으로 목초는 많은 양의 지방을 함유하고 있지 않다. 보통, 지방함량이 4~6%로 글리세라이드 1.5~4%, 왁스 0.5~1%, 스테롤 0.5~1% 및 포스포리피드 0.5~1%로 구성되어 있다. 종실은 주로 불포화지방산이 풍부한 중성지방을 함유하고 있으며 동물성 및 동식물성 혼합 지방은 중성지방과 유리지방산으로 되어 있고 불포화도와 포화도 비율이 1:1보다 크거나 같다. 건조분말 지방은 반추위에서 분해가 잘되지 않기 때문에 반추위 미생물 활력에 영향을 미치지 않도록 제조되고, 그 때문에 종종 반추위 우회 지방으로 이용하기도 한다. 보호지방은 반추위 미생물이 지방에 의해 영향을 받지 않게끔 여러 방법으로 지방에 보호처리를 한 것이다.

옥수수, 밀, 보리 등의 곡류에 포함된 지질은 인지질 및 당지질과 같은 탄수화물 형태의 저장 지방이 주류를 이룬다. 이에 반하여 콩과 각종 채종에 함유된 지질은 대부분 중성지방이며 팔미틴산, 올레인산 및 리놀렌산이 주요 지방산으로 존재한다. 특히 아마씨의 지방산에는 리놀레인산이 60% 이상 함유되어 있다.

우지와 돈지를 구성하고 있는 지방산은 포화지방산과 불포화지방산이 비슷한 수준이며 팔미틴산, 스테아린산 및 올레인산이 주류를 이룬다.

종류별로는 조사료에 3~10%, 곡류사료에 5~15% 채종에 10~50% 그리고 동물성 지방에 50~95%의 지질이 함유되어 있다.

4. 비타민

비타민은 생명활동에 필수적이며 여타 영양소들을 효율적으로 이용하고 다양한 대사과정을 진행시키기 위해 필요하다. 즉 체내에서의 정상적인 생리작용 및 각종 생산 활동을 위해 매우 중요한 영양소이다. 그러나 소와 같은 반추동물에 있어서는 다른 영양소에 비하여 비타민 공급의 필요성이 상대적으로 적다. 그 이유는 반추위 미생물이 비타민 K와 B군을 합성하고, 반추동물이 이를 이용하기 때문이다. 이에 따라 액상사료를 섭취하는 어린 송아지는 비타민 합성 장소인 반추위 기능이 불완전하고 반추위 미생물의 활력이 낮기 때문에 초유를 통해 필요한 비타민을 공급 시키도록 하고 초유 급여가 어려운 경우에는 별도로 비타민 A, D 및 E 만을 보충해 주면 된다.

5. 광물질

5.1. 다량 광물질

소의 체내에서 요구량이 높은 광물질로 각종 생산 활동에 크게 영향을 주는 광물질을 말하며, 칼슘(Ca), 인(P), 나트륨(Na), 염소(Cl), 칼륨(K) 및 황(S) 등이 해당된다.

칼슘은 뼈와 이의 형성에 반드시 필요한 광물질이며 신경자극의 전달, 근육활동 및 혈액응고 등에 관여한다. 인 역시 뼈와 이의 형성에 매우 중요한 광물질이며, 에너지 대사와 혈액 및 체액의 완충제 역할을 한다. 대체로 칼슘은 조사료, 특히 두과목초에 많이 함유되어 있는 반면 곡류에는 적게 함유되어 있다. 그러나 인은 조사료보다는 곡류에 많이 포함되어 있다. 소의 성장단계나 생산성에 따라 일반 사료만으로 부족한 양은 보충사료의 형태로 공급할 필요가 있다.

나트륨(Na)과 염소(Cl)는 체액의 균형이나 삼투압 및 산-염기의 균형을 유지할 뿐만 아니라 포도당의 흡수 및 신경전달에 필요한 광물질이다. 그러나 소금을 부족하지 않게 급여하는 정상적인 사양관리하에서는 크게 문제되지 않는 광물질이다. 마그네슘은 뼈의 발달과 신경전달 및 일부 효소의 정상적인 작용에 필수적인 광물질이다. 짚소의 경우 방목을 위주로 할 때 마그네슘의 결핍으로 그라스테타니가 발생할 수 있다.

포타슘은 동물의 조직 내에 3번째로 많은 광물질로서 삼투압과 수분의 균형을 유지시키는 데 필요하다. 또한 신경 전달, 근육의 수축, 수소와 산소의 운반, 산-염기의 균형 및 효소의 활성화에 관여한다. 조사료보다 농후사료 위주로 급여할 경우 포타슘을 별도로 공급할 필요가 있다. 황은 아미노산(메티오닌, 시스틴 및 시스테인)과 비타민(티아민과 비오틴)의 구성성분이다. 이에 따라 단백질 요구량이 높을 때 황의 요구량도 높아진다. 일반적으로 비단백태질소화합물(NPN)을 많이 급여할 때 광물질 형태의 황을 추가로 공급할 필요가 있다.

5.2. 미량 광물질

반추동물에 있어 다량으로 요구되지는 않지만 체내의 정상적인 대사 작용에 필요한 광물질로 부족시 각종 결핍증상이 나타날 수 있는데, 여기에는 철(Fe), 구리(Cu), 아연(Zn), 코발트(Co), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 요오드(I) 및 셀레늄(Se) 등이 해당된다.

철은 헤모글로빈, 시토크롬 및 효소의 구성성분으로서 주로 산소의 운반에 관여한다. 구리 역시 효소와 헤모글로빈의 구성성분이며, 피모의 착색에 관여한다. 아연은 단백질, 탄수화물

및 핵산 대사에 관여하는 효소의 구성성분이며 면역작용과 호르몬의 합성에도 관여한다. 망간은 뼈의 형성, 지방과 탄수화물 대사 그리고 신경에 작용하는 효소의 구성성분이나, 일반적으로 결핍으로 인하여 야기되는 문제는 크지 않은 편이다.

몰리브덴은 세포 내에서의 산화 및 퓨린 대사에 관여하며, 크산틴 옥시다아제의 구성성분이기도 하다. 몰리브덴을 초과 공급할 경우 구리의 결핍을 초래할 수 있다. 코발트는 비타민 B₁₂의 구성성분이며, 프로피온산의 체내 이용 및 피루빈산 대사에 관여한다. 요오드는 세포 내에서 에너지 대사를 조절하는 타이록신의 합성에 필요한 광물질로서 결핍될 경우 갑상선의 비대증을 초래한다. 한편 셀레늄은 글루타티오닌, 페록시다아제를 비롯한 여러 효소의 구성성분이며, 비타민 E와 함께 항산화제 역할을 하는데 코발트 유허 및 비소(As) 등에 의해 소장에서의 흡수가 저해되기도 한다.

Ⅲ. 영양소의 소화와 대사

1. 침의 분비와 기능

한우와 같은 반추동물에 있어 침(唾液, saliva)은 부교감신경의 작용으로 분비되는데 주로 입, 인두, 식도 및 제2위의 자극, 사료의 섭취로 인한 맛과 냄새 및 사료를 준비하는 소리 등에 의하여 자극을 받아 분비된다. 침 분비는 행동 상태에 따라 다른데 일반적으로 휴식상태에서 60ml/분, 사료 섭취 시에는 120ml/분, 반추 시에는 150ml/분으로 침이 분비된다. 침 분비 속도는 섭취하는 사료에 관계없이 비교적 일정하지만 건초와 같이 입자가 거친 사료는 농후사료에 비해 저작하는 시간이 길기 때문에 중량당 침 분비량은 건초가 더 많다.

침샘은 쌍을 이루는 것과 쌍을 이루지 않는 것이 있는데, 쌍을 이루는 침샘에는 귀밑샘, 턱밑샘, 하구치샘 및 혀밑샘이 있으며 쌍을 이루지 않는 침샘에는 입천장샘, 인두샘 및 입술샘이 있다. 이 중 귀밑샘과 하구치샘 및 턱밑샘에서 침의 50~60%가 분비되고 나머지의 대부분이 쌍을 이루지 않는 샘에서 분비된다.

침 분비량은 사료의 종류와 섭취량 등에 따라 크게 달라지나 면양은 대체로 하루에 6~24ℓ를 분비하고 소는 하루에 100~180ℓ를 분비한다. 이렇게 많은 양의 침이 분비됨으로 인하여 식도를 거쳐 반추위로 들어가는 수분의 50% 이상이 침으로 이루어져 있다. 침의 건물 함량은 1.0~1.4%이며 침 속에는 나트륨, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 인, 염소, 중탄산염, 인산염 등이 대부분 이온상태로 존재한다. 전분소화효소인 아밀라아제는 들어 있지 않지만 저분자 지방분해효소인 리파아제가 들어 있어 저분자 지방산의 함량이 높은 유지방을 섭취하는 어린 반추동물에 있어서 유익하다. 그러나 성우의 경우 침 속의 리파아제에 의한 지방의 소화는 극히 미미하다. 침은 혈액으로부터 온 성분들을 가지고 형성되기 때문에 혈액의 삼투압과 비슷하게 유지되어야 혈액으로부터 침이 될 성분을 받아들이기 쉬운 환경이 된다.

반추동물에 있어 침은 섭취한 사료를 씹고 삼키는 일을 도와 소화를 촉진시킨다. 뿐만 아니라 반추위 내용물의 수분을 조절하여 미생물의 활동을 원활하게 하고 반추위 미생물에 요소, 광물질 등과 같은 영양소를 공급한다. 또한 침은 여러 가지 영양소를 용해시켜 맛을 느끼게 하고 반추위 미생물의 성장에 알맞은 완충제 역할을 한다. 즉 반추위액의 산도(pH) 조절을 위한 완충제(緩衝劑) 역할을 하고 거품 생성을 방지함으로써 고창증 발생을 줄이기도 한다.

반추동물의 침에는 반추위액의 pH 변화를 막아주는 완충능력이 있는데, 반추위액의 산도

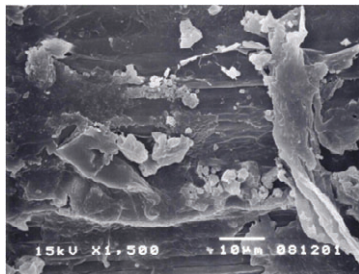
가 비교적 일정한 이유는 침 내의 나트륨, 칼륨과 이온상태의 중탄산염 및 인산염이 결합하여 염(salt)을 형성하기 때문이다. 이러한 완충능력은 사료급여 전보다 급여 후에 증가되며 산성에 대한 완충능력이 염기성보다 강하다. 귀밑샘과 입천장샘 및 인두샘에서 분비되는 침의 완충능력이 특히 높다. 침을 통하여 중탄산염과 인산염이 분비되면 같은 양의 수소이온이 정맥을 통해 제거되므로 산성혈액을 형성하나 휘발성 지방산 및 젖산과 더불어 양이온이 재흡수되므로 일반적으로 혈액이 산성상태를 유지하지는 않는다.

2. 반추위 미생물의 중요성

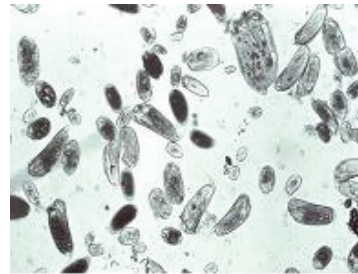
반추위는 매우 다양한 종류의 혐기성 박테리아, 프로토조아 및 곰팡이가 공생하는 데 적합한 환경적 조건을 가지고 있다. 반추위 내 평균온도는 미생물의 성장과 활동에 적합한 39℃ (38~41℃)로서 사료의 발효과정시 생기는 발효열에 의해 체온보다 다소 높은 상태를 항상 유지하고 있으며 산소가 없는 환원적 상태로 혐기성 미생물들이 성장할 수 있도록 한다. 반추위액의 pH는 대체로 6~7 정도지만 사료의 종류, 섭취량 및 섭취 후 경과시간 그리고 가공 등에 따라 달라진다. 반추위 내 pH는 주로 소화물에 농축된 유기산의 양과 저장 시 생성된 타액의 양의 변화에 따라 변하게 되는데 수용성 탄수화물이나 전분을 다량 급여하면 천천히 분해되는 탄수화물이나 섬유소를 급여한 것보다 더 낮은 반추위 pH를 가져오게 된다. 한 예로 과다한 농후사료급여는 다량의 산생성과 타액분비의 저하로 제1위 내 pH가 5 이하로 낮아질 수 있다. 반추위는 pH를 정상적으로 유지하려고 하는 완충능력이 높다. 즉 반추위 내 중탄산염, 인산염을 함유하고 있는 타액이 하루 150ℓ 이상 반추위 내로 유입됨으로써 위액의 완충작용을 하며 제1위에서 분비되는 암모니아 또한 농도가 20mg/100ml 이상일 때는 pH의 감소를 억제시킨다. 따라서 반추위 완충능력은 타액생산의 양 또는 질, 반추위 내 산과 CO₂의 농도 및 소화물의 이전율 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다. 반추위는 산화-환원 전위차가 -250~450mV로서 환원된 상태를 유지하며, 다만 미량의 산소(반추위 가스의 0.5~1%)가 반추위에서 발견되고 있다. 이는 사료 또는 물을 통해 들어온 것으로 추정된다.

반추위 미생물은 크게 박테리아, 프로토조아 그리고 곰팡이로 구성되나 이밖에도 박테리오파지와 마이코플라스마 등이 분포되어 있다. 주요 반추위 미생물인 박테리아는 반추위액 1ml 당 10⁹⁻¹¹으로 존재하고 제1위액에 부유하거나 사료입자에 부착되어 있고 프로토조아는 10⁵⁻⁶으로 존재하고 제1위액에만 부유한다. 그리고 곰팡이는 10⁵⁻⁶으로 존재하고 사료입자에 부착되어 있는 것으로 알려져 있다. 반추위 박테리아는 반추위액에 존재할 뿐만 아니라 사료입자에

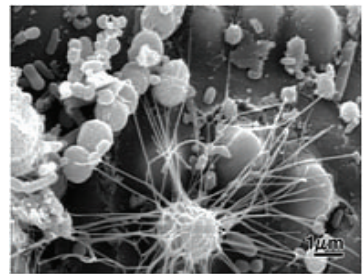
부착되어 사료의 소화에 관여한다. 반면 프로토조아는 주로 반추위액에 존재하고 있으며 박테리아에 비해 크기가 만 배에서 백만 배 정도 크다. 박테리아의 크기가 작고 수가 많기 때문에 실제 반추위 내 대사활동에 미치는 영향은 프로토조아보다 월등히 높아서, 반추위 대사활동의 대부분을 차지하고 있다. 곰팡이는 반추위 미생물의 약 8%를 차지하며 섬유소 함량이 높은 저질 조사료의 분해에 중요한 역할을 담당하고 있다. 반추동물은 반추위 미생물이 성장하는데 필요한 영양소(셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 전분 및 단백질 등)를 제공하고 미생물이 살 수 있는 장소(제1위)를 제공하는 대신 미생물로부터 각종 생산활동에 필요한 영양소(휘발성 지방산, 비타민 B군 및 미생물 체단백질)를 얻어서 반추동물이 이용할 수 있도록 하며 일부 미생물은 사료 중에 함유되어 있는 중독물질을 파괴하여 해독시켜 준다. 반추위 내 미생물에 의해 분해된 탄수화물은 초산, 프로피온산, 그리고 낙산 등으로 분해되며 이들 휘발성 지방산은 곧바로 1위 내에 흡수되어 한우의 주된 에너지원으로 이용된다. 사료로 공급된 많은 양은 단백질 또한 반추위 내 미생물에 의해 분해되어 미생물체 단백질을 합성한다. 이들 미생물은 하부소화기관으로 운반되어 분해 흡수된 후 체내 단백질합성에 이용된다. 반추위에 서식하고 있는 미생물은 반추동물이 섭취하는 사료의 종류 및 급여 형태에 따라 매우 다양한 분포를 이루고 있으며 일부 반추위 벽에 서식하는 통성 박테리아를 제외하고는 99% 정도가 혐기성이다.



사료 내 부착 반추위박테리아



프로토조아



혐기곰팡이

〈그림 11〉 반추위 내 주요 서식미생물

2.1. 반추위 미생물의 영양적 가치

반추위 미생물의 질소(N) 함량은 8~12%(건물 기준)로 소에게 필요한 단백질의 40~90%를 공급한다. 반추위 미생물의 단백질 소화율은 70~90%에 이르나 박테리아보다 프로토조아의 소화율이 다소 높다. 또한 제1위에서 합성되는 미생물지방의 양이 0.1~0.2kg/day로 소량이

지만 미생물체지방을 공급하고 반추위 미생물의 대사산물인 휘발성지방산으로 소에게 필요한 에너지의 70~80%를 공급할 뿐만 아니라 비타민 K 및 B군을 합성하여 공급한다.

2.2. 반추위 미생물의 종류

2.2.1. 박테리아

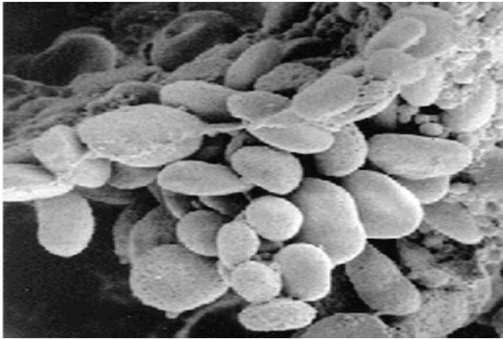
반추위 내에는 사료급여 형태, 급여량, 급여시기에 따라 약간씩 차이가 있지만 반추위액 ml 당 1,010~1,012 정도의 박테리아가 존재하고 있다. 반추위에 서식하는 박테리아는 형태와 크기, 세포막의 구조와 생물학적 기능 그리고 성장 속도 등에 있어 매우 다양한 특성을 가지고 있으나 둥근 모양의 구균, 작은 막대모양의 간균, 연쇄상구균, 및 나선균이 대부분이며 크기는 지름이 0.3~1.0 μ m 그리고 길이는 0.5~3.0 μ m 정도이다.

반추위 박테리아는 사료를 구성하고 있는 성분 또는 영양소, 즉 특정 기질을 중점적으로 분해하거나 대사물질을 이용하는 특성 그리고 생성시키는 물질 등에 따라 분류되는데 이를 영양적 분류라고 한다. 예를 들면, 섬유소 분해 박테리아, 단백질 분해 박테리아, 지질 분해 박테리아, 젖산 이용 박테리아 그리고 메탄 생성 박테리아 등으로 분류된다. 섬유소 분해 박테리아는 반추동물의 소화효소로는 이용할 수 없는 섬유소를 분해시켜 반추동물이 이용 가능한 형태의 대사산물을 공급하기 때문에 특히 중요하다.

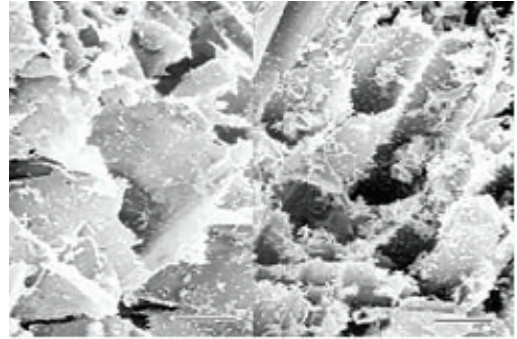
이밖에도 반추위의 주요 활동 부위에 따라 박테리아를 분류하기도 하는데 ① 반추위액에 부유되어 있는 박테리아 ② 사료입자에 약하게 붙어 있는 박테리아 ③ 사료입자에 강하게 붙어있는 박테리아 ④ 반추위 상피세포에 존재하는 박테리아 ⑤ 프로토조아와 곰팡이 표면에 붙어있는 박테리아로 나눌 수 있다(McAllister 등., 1994). 일반적인 사양시스템에서는 위액에 부유하고 있는 박테리아는 약 20~30%정도이며, 사료입자에 부착되어 있는 박테리아가 전체 미생물 내 75%를 차지하고 있다. 이들 부착박테리아는 반추위 내 미생물에 의한 ATP 생산량의 75%를 담당하고 있다. 반추위 내 상피세포와 프로토조아, 곰팡이에 부착된 박테리아는 1% 미만으로 사료의 소화에 큰 영향을 주지 않으며, 사료입자에 부착된 미생물이 사료소화에 중추적인 역할을 한다.

반추위 내 박테리아의 주요 기능은 섬유소를 비롯한 탄수화물(전분, 과당류 및 단당류)을 분해하여 휘발성지방산을 생성하며 이들이 흡수되어 에너지원으로 또는 체조직의 합성이나 생산 등에 이용하며, 사료단백질을 분해하여 암모니아를 생성하고 생성된 암모니아를 이용한 단백질을 합성하는 기능을 갖고 있다. 더불어 사료지방을 분해하여 휘발성지방산의 전구물질

로 이용할 뿐만 아니라 한우에게 필요한 비타민을 합성하며, 반추위로 유입되는 많은 종류의 독성물질을 불활성화시키는 작용을 한다.



사료 내 부착박테리아



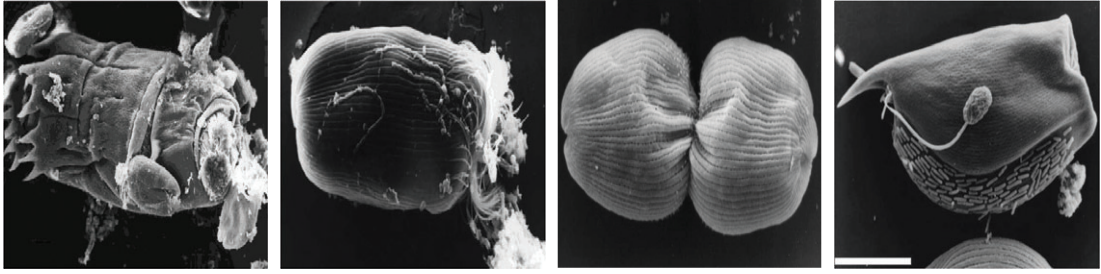
반추위박테리아에 의한 사료분해

〈그림 12〉 반추위 박테리아의 기능

2.2.2. 프로토조아

반추위에 서식하는 프로토조아는 섬모 프로토조아와 편모 프로토조아로 구성된다. 혐기적 조건에서 존재하며 탄소 균형을 유지하기 위해 휘발성지방산과 수소를 생성한다. 생성된 수소는 프로토조아 표면에 살고 있는 메탄생성 박테리아가 이용함으로써 서로 공생관계를 유지한다. 편모 프로토조아에 비하여 섬모 프로토조아의 수가 10배 이상 많아 반추위 내에서 사료의 발효에도 크게 영향을 미친다. 섬모 프로토조아는 다양한 탄수화물 분해효소를 분비하여 당, 전분 및 이눌린 등을 이용하고 박테리아를 포식하기도 한다. 이들을 이용하고 난 후에 젖산, 초산, 낙산, 수소 및 이산화탄소를 생성한다.

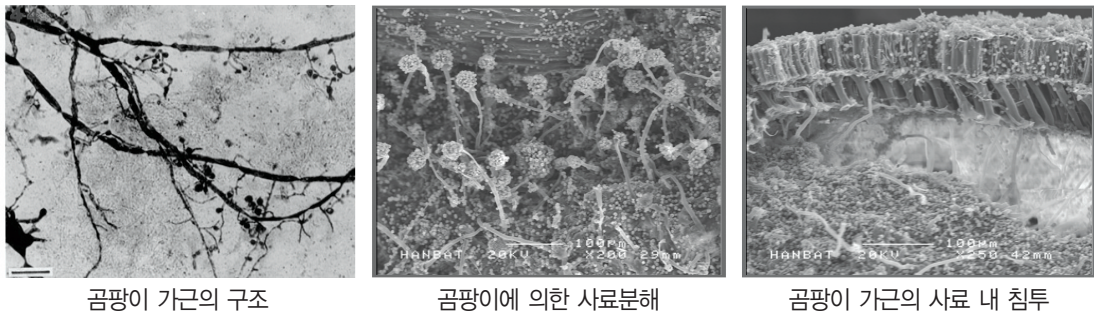
프로토조아는 박테리아보다 10,000~1,000,000배 정도 크기 때문에 박테리아를 주요 먹이로 이용하고 반추위에서 생산되는 미생물총량의 40~50%를 차지한다. 또한 각종 사료성분의 발효에 능동적으로 관여하지만 박테리아에 비하여 사료 분해 능력이 떨어지며 요소 분해 능력은 거의 없다. 프로토조아는 증식에는 0.5~2일이 걸릴 만큼 성장 속도가 느려 증식시간이 제1위액의 반전시간보다 느리지만 대부분의 프로토조아는 큰 사료입자에 부착되어 있어 반추위 내에서 머무는 시간이 길어 전체 프로토조아의 20% 정도만이 이전되고 약 70% 정도가 제1위 내에서 자체 분해된다. 이에 따라 생산량에 비하여 소장으로 공급되는 프로토조아 단백질은 전체 미생물 단백질의 20% 정도에 불과하여 반추동물의 미생물 단백질 이용 측면에서는 크게 기여하지 못한다.



〈그림 13〉 반추위 혐기성 프로토조아의 형태

2.2.3. 곰팡이

반추위에 서식하고 있는 혐기성 곰팡이가 사료의 발효 및 소화에 기여한다는 사실은 최근에 밝혀졌다. 현재까지 분리된 혐기성곰팡이는 종류가 5속 21종이며 그 수는 반추위액 1ml당 105-6 정도인 것으로 알려진다(그림 14). 반추위 곰팡이는 농후사료보다는 조사료를 섭취하는 환경에서 성장과 활동이 왕성하며, 섬유소와 같은 구조 탄수화물을 중점적으로 분해시킨다. 반추위 곰팡이가 조사료를 분해하는 과정은 다음과 같다. 먼저 편모 유주자가 사료 표면에 정착을 한다. 이때 저작으로 인해 잘린 단면 등을 더 선호한다. 여러 개의 뿌리를 뻗어 표면에 곰팡이 정착을 하면서 사료 조직을 물리적으로 부수고 부서진 조직 사이로 섬유소 분해박테리아가 침투해 섬유소를 분해할 수 있게 도와준다. 곰팡이는 점차 자라서 구형의 유주자낭을 형성하여 내부에 많은 유주자를 생산하게 되고 이후 유주자낭이 파열되어 유주자가 다른 사료 조직으로 이동하게 된다. 반추위 곰팡이의 중요한 특징으로는 곰팡이 내 가근을 통한 사료의 물리적 분해와 강력한 섬유소분해효소를 분비함으로써 저질 조사료나 섬유소를 활발하게 분해하는 장점이 있다. 이는 산업적으로 널리 사용되고 있는 호기성곰팡이보다 약 10배 정도 강한 섬유소 분해능력을 가지고 있어 반추위 내 탄수화물의 분해에 크게 기여한다.



〈그림 14〉 반추위 혐기곰팡이에 의한 섬유소 분해

2.3. 반추위 내 미생물 분포 및 성장에 영향을 미치는 요인

반추위 미생물의 분포는 무엇보다도 반추동물이 섭취하는 사료의 성분과 함량 및 분해 특성 등에 의해 영향을 받는다. 반추동물이 농후사료를 위주로 섭취할 경우 가용성 탄수화물과 전분을 분해하는 미생물의 수가 급격히 증가되지만 조사료를 다량 섭취할 때는 섬유소 분해 박테리아와 곰팡이의 수가 많아진다. 또한 제1위 내 미생물 단백질 합성효율을 높이기 위해서는 적절한 수준의 질소를 공급해야 한다. 즉 질소가 부족하면 발효 과정에서 생성된 에너지가 제대로 이용되지 못하고 반대로 질소 수준이 충분하지만 에너지가 부족해도 질소의 이용률이 낮아진다. 농후사료의 섭취와 관련된 것으로서 반추위액의 pH가 낮아지면 섬유소 및 단백질 분해 박테리아와 메탄 생성 박테리아의 활동이 감소된다. 섭취하는 사료에 따라 제1위 내 pH는 5.5~6.8의 변화를 보이지만 최적의 pH 범위는 6.0~6.3이다. 이는 섬유소분해박테리아의 정상 pH 범위가 6.0~6.8이고 전분분해박테리아의 정상 pH 범위가 5.5~6.0이기 때문이다.

또한 일반적으로 사료섭취 5시간 이후는 반추위 내에 분해 가능한 성분이 크게 줄어 미생물 간의 2차 분해가 시작되는데, 프로토조아에 의한 박테리아 포식(분해)이 한 예다. 프로토조아는 시간당 40~12,000개의 박테리아를 삼키는 것으로 알려져 있다. 사료에 항생제와 같은 약품을 첨가할 때도 박테리아의 분포에 영향을 미친다. 즉 아이노포아계(Iomophore) 항생제인 모넨신이나 라사로시드는 반추위 내 그람 양성 박테리아에서 이온의 세포벽 이동을 저해시켜 성장을 크게 감소시키는데, 이에 따라 그람 음성 박테리아의 성장이 상대적으로 증가된다. 이러한 여건에서는 대체로 프로피온산 농도가 증가되고 메탄 생성이 감소된다.

반추위 내용물이 제3위로 빠져나가는 속도를 통과속도라 하는데, 남아 있는 반추위 내용물에 새로운 사료가 유입되어 희석되고 그 일부가 다시 일정한 속도로 빠져나가는 작용이 계속된다 하여 이를 희석률(dilution rate)이라고도 한다. 특히 반추위 박테리아의 성장은 희석률에 의해서 크게 영향을 받는데, 희석률이 높을수록 박테리아의 성장도 증가된다. 사료 섭취량이 증가하거나 환경온도가 낮을수록 희석률이 높아진다.

사료 급여 횟수를 증가시키면 침 분비량이 증가하여 제1위 내 정상 pH가 유지되므로 제1위 내 사료 분해의 안정화가 이루어지고 미생물의 성장률이 향상된다.

3. 반추위 영양소 대사

3.1. 반추위 탄수화물 대사

일반적으로 반추동물에 급여하는 사료 중 70~80%를 차지하는 탄수화물은 대부분 전분과 셀룰로오스 형태로 존재하는 포도당 복합체이지만 헤미셀룰로오스와 펙틴도 상당량 포함되어 있다. 이 중 전분과 셀룰로오스가 혐기적인 환경하에서 반추위 미생물에 의해 분해되어 포도당을 생성하며, 생성된 포도당은 최종적으로 피루베이트로 분해된다. 헤미셀룰로오스와 펙틴의 경우 5탄당으로 분해된 다음 전분과 셀룰로오스의 경우와 같이 발효과정을 거치면서 휘발성지방산 등을 생산한다.

휘발성지방산은 일반적으로 탄소의 수가 6개 이하인 것으로 휘발되는 특성을 가진 저급 지방산이며, 탄소의 수가 적을수록 휘발성이 높다. 반추위 내에서 사료의 발효과정 중에 생성되는 휘발성지방산에는 초산, 프로피온산, 낙산 및 바레인산이 있다. 뿐만 아니라, 반추위 미생물에 의해 아미노산인 발린, 류신 및 이소류신으로부터 각각 이소발린, 이소낙산 및 2-메틸낙산이 생성된다.

일반적으로 섭취한 가소화에너지의 60% 또는 대사에너지의 70% 정도가 반추위 내에서의 휘발성지방산 생성을 위해 쓰이는 것으로 알려진다. 소가 섭취하는 탄수화물 기질 종류에 따라서 생성되는 최종산물의 양과 구성, 미생물체단백질의 합성 및 박테리아 다당류의 생성이 달라진다(표 2). 생산된 휘발성지방산은 반추위벽을 통해 반추동물 체내로 흡수되어 에너지원으로 이용되는데, 이 휘발성지방산은 반추동물이 필요로 하는 대사에너지의 70%를 공급할 수 있다. 반추위 내 탄수화물은 이용성 및 발효 속도에 따라 구분하는데 거의 전부가 분해되는 당(A 분획)이 있고 곡물의 종류 및 가공형태에 따라 다르지만 일반적으로 빠른 분해속도를 가지고 있는 전분(B₁ 분획), 반추위 미생물 분해에 의해 이용 가능한 섬유소(B₂ 분획) 및 리그닌과 결합되어 있어 이용 불가능 섬유소(C 분획)로 구분된다.

〈표-2〉 반추위 미생물에 의해 발효된 3종류 당의 탄소 분포

최종 생성물	당 종류별 탄소의 분포 비율(%)		
	말토오스	아라비노오스	자일로오스
휘발성지방산	34.7	41.3	48.4
젖산	8.0	0.7	0
이산화탄소	8.0	4.0	4.8
메탄	3.1	1.3	2.1
박테리아 단백질	11.8	16.7	16.1
박테리아 다당류	28.1	18.7	16.5
기타	6.3	17.3	12.1

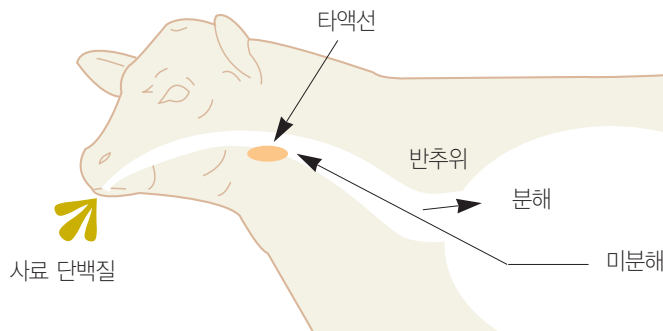
자료 : McNaught(1951)

반추위 내 각 휘발성지방산의 농도 및 조성은 반추동물이 섭취하는 사료의 종류와 가공 등에 따라 달라진다. 일반적으로 농후사료 급여량을 증가시키거나 농후사료를 열처리할 때, 또는 모넨신이나 라살로시드와 같은 아이오노포아제 항생제를 사료에 첨가할 경우 프로피온산의 농도가 증가한다. 또한 조사료와 같이 섬유소 함량이 많은 사료를 급여하면 초산의 농도가 높아지며, 청초와 사일리지를 많이 급여하면 낙산 생성량이 증가하는 것으로 알려진다.

3.2. 반추위 단백질 대사

3.2.1. 반추위에서의 단백질 분해

제1위 내에서 일어나는 단백질 대사는 사료 중의 단백질을 미생물 발효에 의해 분해시켜 미생물단백질로 합성하는 것이 주를 이룬다. 반추위 미생물은 반추동물이 섭취하는 각종 질소 화합물을 분해하지만 미생물의 종류에 따라 분해방법이 다르고 질소 화합물의 구성성분과 특성에 따라 분해율이 다르다. 박테리아의 경우 세포벽 밖으로 분비되는 효소를 이용하여 질소 화합물을 분해하지만 프로토조아는 박테리아나 사료입자 등을 몸 안으로 삼킨 후 내부에서 분비되는 효소로 질소 화합물을 분해한다. 그림 15는 섭취한 단백질의 체내 대사와 관련된 모식도이다.



〈그림 15〉 섭취한 사료 단백질의 체내 대사 모식도

반추위 내에서의 단백질 분해율은 기본적으로 반추위 미생물의 분포와 사료의 반추위 내 체류 시간에 의해 영향을 받는다. 또한 단백질의 물리 화학적 특성에 따라 분해율이 달라지는데, 예를 들면, 카제인은 수용성이면서 분해율이 매우 높은 데 반하여 알부민과 글로불린은

물 또는 염수(salt water)에 녹지만 분해율이 높지 않은 편이다. 이와는 달리 프롤라민과 글루테린은 물에 불용성이며 잘 분해되지 않는 특성을 가지고 있다. 핵산은 천연 사료에서 전체 질소의 5~10% 정도를 차지하지만 섭취 후 1시간 이내에 뉴클레오티드, 뉴클레오시드, 퓨린 및 피리미딘으로 분해된다. 사료 단백질의 화학적 및 물리적 특성에 따른 분해 정도를 보면 표 3에서 보는 바와 같다.

〈표-3〉 사료 단백질의 분해 특성

구분	단백질함량	비단백태 질소화합물 (A)	가용성 순단백질 (B ₁)	서서히 분해되는 단백질 (B ₂)	분해성 단백질 (B ₃)	이용불능 단백질 C
		% CP				
주정박+주정액박	29	17	2	18	41	21
맥주박	29	4	2	54	27	13
옥수수글루텐	6	3	1	94	0	2
옥수수	9	10	5	70	10	5
비트펄프	8	3	0	45	41	11
옥수수글루텐피드	22	55	0	37	5	2
옥수수 사일리지	9	44	4	36	8	8
알팔파 건초	20	27	3	50	10	10
대두박	52	13	12	71	3	2
주정박	27	2	1	45	22	20

자료 : 맹원재(1998)

이밖에도 단백질은 반추위액의 pH가 5.5 이하인 환경에서나 열처리를 하는 경우 또는 포름알데히드나 탄닌과 같은 화학물질로 처리할 경우 분해율이 크게 감소된다. 일반적으로 농후 사료를 구성하는 사료 자원의 반추위 내 단백질 분해율은 20~90%이고 조사료 자원의 경우 30~95%에 달한다.

3.2.2. 암모니아의 생성 및 미생물단백질 합성

반추위액의 암모니아는 섭취한 사료단백질과 반추위 미생물 및 탈락된 위벽의 상피세포가 분해되거나 타액과 위벽(혈관)을 통하여 재순환된 요소로부터 생성된다. 이 중 사료 단백질의 분해(20~90%)로부터 대부분의 암모니아가 생성된다.

반추위에서 생성된 암모니아는 대부분 반추위 미생물에 의해 단백질 합성을 위한 질소 자원으로 이용되거나 반추위벽을 통하여 흡수되지만 일부는 제4위를 거쳐 소장으로의 이동, 그곳에서 흡수된다. 반추위와 소장의 벽에서 암모니아가 흡수되는 방법은 농도의 차이에 의한 확산이다. 따라서 반추위액의 암모니아 농도가 혈액에서보다 높을수록 흡수율도 높아진다.

암모니아의 흡수율은 반추위액의 pH에 의해 크게 영향을 받는다. 반추위액의 pH가 중성-약산성인 상태에서 암모니아는 대부분 이온화된 상태(NH_4^+)로 존재하며 pH 9.0 이상의 염기성 상태에서의 암모니아(NH_3)에 비하여 흡수율이 낮다. 따라서 사료를 섭취한 후 3시간 정도가 경과하기 전 반추위액의 pH가 그 이후의 pH에 비하여 낮기 때문에 사료섭취 후 3시간 이후의 암모니아 흡수율이 높다.

반추위액의 암모니아는 반추위 미생물, 특히 박테리아에 의해 이용되지 않는 한 영양소로서의 가치가 거의 없다. 실제로 반추위 박테리아 단백질의 50~80%가 암모니아로부터 합성되는 것으로 알려져 있다.

일반 동물과 같이 반추위 미생물도 에너지와 질소 화합물 및 기타 영양소가 부족하거나 불균형을 이룰 때에는 성장과 활동이 감소한다. 특히 단백질이 부족한 상태에서 에너지 공급량이 많으면 미생물은 여분의 에너지를 다당류 형태로 저장하며 반대의 경우에는 암모니아 이용률이 크게 낮아진다. 또한 한우와 같이 농후사료 위주의 사료급여조건에서 주로 차지하게 되는 전분분해박테리아는 체단백질 합성을 위해 암모니아보다는 아미노산과 펩티드를 주로 이용하며, 일부 박테리아는 핵산 합성을 위해 퓨린과 피리미딘을 요구하기도 한다. 이밖에도 비단백태질소화합물을 급여 시에는 미생물체단백질 증식에 필요한 메티오닌과 시스테인과 같은 함황아미노산의 합성을 위하여 황의 공급도 중요하다.

3.2.3. 질소의 재순환

각종 질소 화합물의 반추위 내 최종 분해산물인 암모니아는 반추위와 소장에서 흡수된 다음 간에서 몸에 해롭지 않은 요소의 형태로 전환된다. 합성된 요소는 대부분 요를 통하여 몸 밖으로 배설되지만 반추동물의 단백질 섭취 수준에 따라 그 일부가 침이나 반추위벽을 통하여 반추위로 다시 유입되는데, 이를 요소의 재순환이라 한다. 단백질 급여 수준이 높으면 과잉의 단백질이 암모니아로 분해된 후 흡수되어 요소 형태로 오줌을 통해 배설되지만 단백질 급여 수준이 낮을 때는 제1위 내로 재순환되는 요소에 의해 미생물 단백질 합성량이 증가되어 단백질의 부족분을 보충해 준다. 특히 반추위벽을 통한 요소의 재순환에는 반추위벽에 서식하고 있는 박테리아가 크게 작용하는데, 박테리아가 위벽의 조직을 분해시키는 과정에서 모

세혈관을 통한 요소가 반추위로 유입되며 이때 박테리아로부터 분비되는 유레아제에 의해 암모니아로 전환되어 반추위액에 합류한다.

사료의 단백질 함량 또는 단백질 섭취량은 요소를 통한 질소의 재순환에 영향을 미친다. 대체로 사료단백질 함량이 13% 이하일 경우 요소태 질소의 재순환이 유효하며, 조사료만을 급여할 경우 혈액 내 요소의 15~50%가 타액을 통하여 재순환되는 것으로 알려진다. 또한 반추위 내 암모니아 농도가 증가할 경우 재순환되는 양이 감소하며 혈액 내 요소의 농도가 상대적으로 증가할 경우 반추위로 재순환되는 양이 증가한다. 면양의 경우 하루에 재순환되는 질소량은 10~15g이며 큰 소의 경우 40~60g 정도이다.

3.3. 반추위 지방대사

3.3.1. 반추위 미생물에 의한 지방 분해와 대사작용

반추위 미생물은 사료지방을 지방산과 글리세롤 및 기타 화합물로 매우 빠르고 폭넓게 분해시킨다. 일반적으로 식물성 지질은 80% 이상 분해되는 반면, 어유는 50% 이하만이 분해된다. 사료에 포함된 지질은 대부분 박테리아에 의해 분해되는 것으로 알려져 있으며, 곰팡이의 경우 지질 분해 능력이 거의 없는 것으로 보인다.

반추동물의 사료에는 지방이 2~4%로 매우 적게 함유되어 있는데 이는 사료에 지방이 많이 함유되어 있으면 제1위 내 발효에 이상이 생기고 섬유소의 소화율이 떨어지기 때문이다. 반추위 미생물의 세포막은 지방으로 구성되어 있는데 주로 포화지방산으로 구성되어 있다. 그러나 불포화지방산도 일부 포함되어 있어서 반 액상형태로 물질 수송을 원활하게 한다. 따라서 섭취한 불포화지방산은 미생물에 붙고 섭취한 포화지방산은 섬유소 등의 사료 입자에 붙게 된다. 이에 기인하여 불포화지방산 급여 시 섬유소 분해율이 더 떨어진다.

단위동물에서와는 달리 반추동물의 경우 사료지방의 지방산 조성 and 체지방 또는 유지방의 지방산 조성이 다른데, 이는 반추위 미생물에 의한 수소첨가 작용 때문이다. 수소첨가 작용(Biohydrogenation)은 지방의 분해산물인 불포화지방산의 이중결합이 반추위 미생물에 의하여 수소(H_2)가 첨가되어 단일결합의 포화지방산으로 되는 것을 말하며, 사료의 발효과정 중에 생성된 수소를 제거하는 수단이 되기도 한다.

사료에 첨가하는 지방은 사료의 에너지 밀도를 증가시키고 기호성을 좋게 할 뿐만 아니라 사용 방법에 따라 필수지방산을 보충하며 유지율을 개선하는 효과도 있다. 그러나 사료의 5% 이상 첨가할 경우 조섬유 소화율은 물론 전반적으로 사료의 반추위 내 발효 속도가 감소된다.

특히 불포화지방산이 반추위 미생물의 사료분해 활동을 감소시킨다. 아울러 지방산이 칼슘이나 마그네슘 같은 2가의 광물질과 결합하여 염(salt)을 형성하여 광물질의 이용률을 감소시키기도 하여 이를 보충시킬 필요가 있다.

3.3.2. 반추위 미생물에 의한 지방 합성

반추위와 같은 환경에서는 반추위에서 생성되는 지방산을 에너지원으로 이용하지 못하는 대신 일부는 미생물 자체의 지방합성을 위한 전구물질로 이용된다. 일반적으로 초산, 낙산 및 카프로인산은 탄소의 수가 짝수인 지방산을 합성하는 데 이용되는 반면 프로피온산과 발레인산은 홀수인 지방산을 합성하는 데 이용된다. 이소낙산과 이소발레인산과 같이 아미노산으로부터 생성되는 측쇄지방산도 각각의 탄소 수에 따라 짝수 또는 홀수의 지방산을 결정하는 요인이 되기도 한다.

뿐만 아니라 박테리아와 프로토조아는 체지방 합성에 사료의 지방산을 직접 이용하기도 한다. 그러나 미생물에 의해 합성된 지방산은 중성지방의 형태로 축적되지 않고 세포막의 인지질이나 세포 내 유리지방산의 형태로 존재한다.

4. 반추가축의 체내 영양소 대사

4.1. 휘발성지방산의 체내 이용

반추위에서 생성된 휘발성지방산의 대부분은 반추위와 제3위에서 흡수된다. 휘발성지방산의 75% 정도가 제1위벽을 통하여 흡수되고 20%는 제3위에서, 나머지 5%는 제4위와 소장에서 흡수된다. 제1위벽을 통한 흡수과정은 pH에 따라 차이가 나는데 반추위 pH가 낮은 상태일 때 휘발성지방산은 빨리 흡수하게 되고, 흡수되는 속도는 낙산이 가장 빠르며, 그 다음으로 프로피온산 및 초산의 순인 것으로 알려져 있다. 평상시 젖산은 박테리아에 의하여 초산, 프로피온산 및 낙산으로 전환된다. 그러나 지나친 농후사료 급여로 제1위 내 총 산의 경우 50~90%를 젖산이 차지하게 되면 젖산 그 자체로 존재하기 때문에 제1위벽을 통하여 직접 흡수된다.

흡수된 휘발성지방산은 체내 각 조직으로 운반되고 TCA회로를 통하여 산화되어 에너지를 공급하거나 포도당 또는 지방산 합성에 이용된다. 지방산 합성의 경우 초산은 팔미틴산까지

의 합성에 있어 전구물질로 이용되며, 일부는 케톤체로 전환되기도 한다. 프로피온산은 흡수된 후 간에서 포도당으로 전환되어 몸을 유지하거나 각종 생산활동에 필요한 에너지(ATP)를 합성하는 데 이용되지만, 일부는 지방산 합성의 전구물질로 이용된다. 낙산 역시 필요시 TCA 회로를 거쳐 ATP를 생성하는 데 이용되기도 하지만 반추위벽으로 흡수되는 과정에서 상당량이 베타하이드록시낙산과 같은 케톤체로 전환되어 심장이나 근육에서 산화되고, 체지방 또는 유선조직에서 지방산 합성에 이용되기도 한다. 초산은 제1위 점막세포 또는 간에서는 대사되지 않고 말초조직, 즉 근육과 지방조직에서 산화된다.

4.2. 조직에서의 단백질 대사

4.2.1. 아미노산의 흡수와 이용

반추위에서 분해되지 않은 사료 단백질과 반추위에서 합성된 미생물 단백질은 제4위와 소장 상부에서의 소화과정을 거친 후 능동 수송에 의해 흡수되어 조직 또는 유단백질 합성에 이용된다. 또한 체내로 흡수된 일부 아미노산이 포도당 합성에 이용되기도 하는데, 일반적으로 우유 생산량이 증가할 경우 아미노산으로부터의 포도당 생성량도 증가한다.

4.2.2. 암모니아 흡수 및 재순환

반추위 내에서 각종 사료 단백질이 분해되어 나오는 최종 산물은 암모니아다. 암모니아가 반추위나 소장에서 흡수된 후 대부분은 간에서 해롭지 않은 요소로 전환된 다음 오줌을 통하여 배설되지만, 단백질 섭취 수준 등에 따라 일부는 침(타액)을 통하여 반추위로 다시 들어가기도 하는데, 이를 요소의 재순환이라 한다.

4.3. 반추가축의 체지방 대사

소장으로 유입된 지방, 지방산 및 지방산 염은 주로 담즙에 의해 용해되거나 소화된 다음 pH가 4 이하인 공장(jejunum)에서 미셀(micelle, 교질입자)의 형태로 흡수되며, 지방산의 분자량이 클수록, 그리고 포화도가 증가할수록 흡수율이 감소된다.

주로 간에서 지방 합성이 이루어지는 단위동물과는 달리 반추동물의 경우 지방 조직이 지방산 합성의 주요 부위이다.

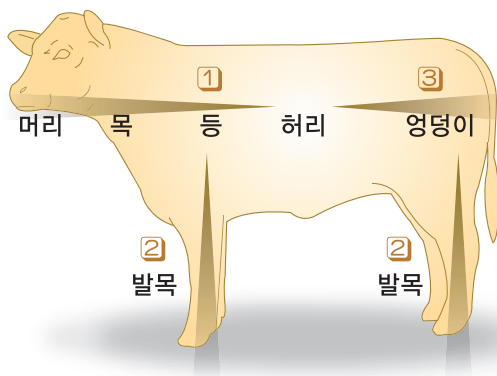
어린 송아지의 경우 지방산 합성의 전구물질로 포도당을 이용하지만, 큰 소의 경우에는 초산과 젖산 및 베타하이드록시낙산을 주로 이용한다. 유선조직에서는 지방산 합성에 낙산을 직접 이용하기도 한다. 일반적으로 섭취한 사료의 지방산 조성 and 체지방 또는 유지방의 지방산 조성이 비슷하지 않은데, 이것은 주로 사료 지방의 반추위 내 분해 후 나온 불포화지방산이 반추미생물의 수소 첨가 작용에 의해 포화지방산으로 전환된 다음 체내로 흡수, 이용되기 때문이다.

대체로 소의 체지방을 구성하고 있는 지방산 중 80% 이상이 중성지방 형태로 존재하며, 미리스틴산(myristic acid, C14:0), 팔미틴산(palmitic acid, C16:0), 스테아린산(stearic acid, C18:0) 및 올레인산(oleic acid, C18:1)이 가장 큰 분포로 존재한다. 급여하는 사료가 주로 곡물로 구성되어 있을 경우 불포화지방산의 함량이 높아지지만, 조사료를 위주로 급여할 때는 포화지방산, 특히 스테아린산 함량이 높아지는 것으로 밝혀졌다. 또한 피하지방의 경우 불포화지방산 함량이 높지만 장 기관 주위에 축적되는 지방은 포화지방산 함량이 높은 것으로 알려져 있다.

Ⅳ. 조직의 성장과 발달

1. 한우의 조직성장과 발육

동물의 성장이란 골격, 신장, 체중, 근육 그리고 소화 장기 등이 크기나 수가 양적으로 증가해 나가는 과정을 의미한다. 발육은 뇌가 성장함에 따라 운동기능, 정신 기능이 발달해 나가는 단계로서 성장에 따르는 기능적인 발전과정을 뜻한다. 한우의 성장은 몸체를 구성하고 있는 모든 부위가 일시에 성장하지 않고 일정한 유형에 의해 성장단계를 거친다. 신체의 발달은 ① 머리 → 목 → 등 → 허리로 향하는 강한 발육과 ② 발목 → 허리로 향하는 중간 발육 ③ 엉덩이 → 허리로 향하는 약한 발육이 진행되면서 최종적으로 허리가 몸의 중심에 있으면서 가장 늦게 성장한다. 또한 조직의 발달은 가장 먼저 뇌가 발달하고 그 다음에 뼈 그리고 근육, 마지막으로 지방의 순서로 발육이 진행된다.



자료 : 한우사육길잡이(2002)

〈그림 16〉 한우의 신체발달 단계

이러한 신체의 발달순서는 고영양이나 저영양으로 사육관리를 하더라도 순서는 일정하지만 영양이 좋지 않을 경우에는 성장속도가 지연되면서 신체와 조직의 완성이 길어지게 된다. 성장발육순서는 신경, 골격, 근육 및 지방조직의 순으로 발달하며 지방도 신장지방이 가장 먼저 침착된 후 내장 및 피하지방이 침착되며, 마지막으로 근육 내의 지방이 침착된다. 한우에게 공급된 영양분은 발육이 빠른 순서대로 우선적으로 공급되어 발육이 진행된다. 만약 일정한 영양분이 생체 내 조직에 충분히 급여되지 않고 부족할 경우 지속적으로 발육의 진행이 늦

어져 최종적으로 지방의 축적이 일어나지 않게 되고 지속적으로 영양분이 부족하게 되면 근육의 발육도 지연되게 된다. 따라서 한우고기의 육질을 고급화하고 육량을 극대화하고자 할 때에는 발육특성을 이해한 적절한 양의 영양소의 공급과 사양관리가 이루어져야 한다.

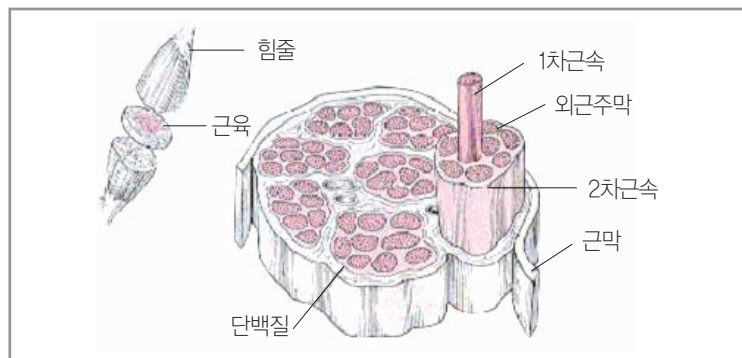
〈표-4〉 조직 및 신체의 성장순서

구분	성장 순서			
	①	②	③	④
부위	머리	목	가슴	허리
조직	신경	골격	근육	지방
골격	관골	경골	대퇴골	골반
지방침착	신장	내장	피하	근육

2. 한우 육질의 형성과 원리

2.1. 근섬유의 발달

근육은 근섬유라고 하는 근조직을 구성하는 수축성을 가진 섬유상 세포로 이루어져 있다. 근조직을 구성하는 기본단위는 근세포가 1차로 다발을 형성하고 있는 1차 근속이며, 1차 근속들이 모여서 2차 근속을 형성한다. 이 1차 근속과 2차 근속이 콜라겐 결합조직으로 구성되어 있는 내근주막으로 싸여 있고, 여러 개의 2차 근속이 모여서 외근주막이라는 결합조직에 싸여서 근육을 형성하게 된다(그림 17). 근섬유의 직경은 나이, 성별, 영양상태 등에 따라 다르며 이 근섬유가 모여서 이루어진 제1차 근속의 크기와 분리의 정도에 따라 조직감이 크게 달라진다.



〈그림 17〉 근육의 구조

근육의 성장은 근육세포의 증식, 사멸이나 근섬유의 성장의 균형에 의한 결과이다. 즉 세포수의 증가로 조직이 성장되는 증식과정과 근섬유의 직경이 증가되어 세포의 부피가 커지는 비대과정을 통하여 근육이 성장하게 된다. 일반적으로 근육 전구세포의 결정, 근원세포의 증식, 분화와 근섬유의 성장단계를 통하여 계속적으로 근육이 성장하게 된다.

척추동물의 골격근은 짙은 적색을 띠는 적색근육과 옅은 백색을 띠는 백색근육으로 구별된다. 근육 중에서도 자주 쓰이는 곳은 에너지(ATP) 생성이 효과적으로 일어나야 되므로 미토콘드리아나 세포 내에 산소축적을 위한 미오글로빈을 다량 함유하고 있어 붉은색을 띠게 되어 적색근육이라고 부른다. 이에 반하여 사용을 자주 하지 않는 근육은 대부분 산소가 없이도 에너지를 얻을 수 있는 해당계(解糖系)에 의해 ATP가 생성되므로 미토콘드리아나 미오글로빈의 함량이 적고, 이러한 근육은 색이 옅으므로 백색근육이라고 한다. 따라서 적색근은 근원섬유가 적고 근형질(筋形質)이 풍부하며, 백색근은 근원섬유가 많고 근형질이 적은 특성을 갖고 있다.

이러한 ATP 생성과정의 차이에 의하여 적색근육과 백색근육은 생리적, 생화학적 및 조직학적으로 성질이 다른 3가지의 근섬유의 구성성분의 차이로 나타난다.

이러한 근섬유의 조직화학적 특성 및 구성비율은 가축의 종, 근육부위에 따라 다르며, 식육의 생산능력과 질에도 영향을 미친다.

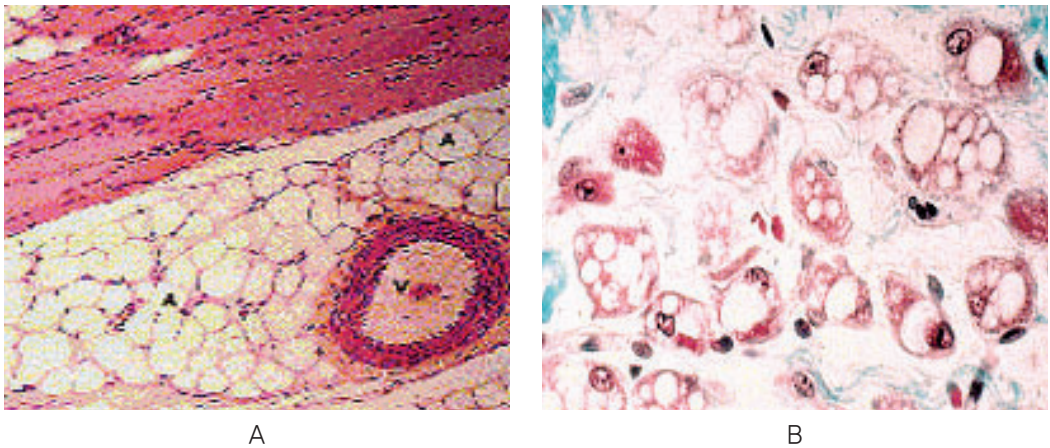
2.2. 체지방의 합성과 축적

지방조직은 체내에서 중성지방형태로 에너지를 가장 많이 저장하는 곳이다. 다른 영양소에서 오는 에너지의 저장형태인 글리코젠은 간과 골격근에 저장된다. 반추동물의 각종 대사활동을 위해 에너지는 사료의 형태로 공급되지만, 섭취한다는 것은 규칙적인 행동이고 제한적인 횟수이므로 사료섭취 사이에 동원될 수 있는 에너지의 큰 저장소가 있어야 한다. 중성지방은 밀도가 글리코젠보다 낮고, 높은 열량을 내므로(중성지방은 9.3kcal/g이고 탄수화물은 4.1kcal/g) 지방조직은 매우 효율적인 에너지 저장조직이다. 지방조직은 계속적으로 교체되며 신경자극이나 호르몬자극에 민감하다. 지방조직으로 구성된 피하층은 체표면의 형태 형성에 도움을 주는 반면, 발바닥에서는 패드 모양으로 저장되어 충격 흡수층으로 작용하기도 한다. 지방조직은 열을 잘 전도시키지 않으므로 체온 유지에 도움을 준다. 또한 지방조직은 조직 사이의 공간을 채워주고, 장기들을 제 위치에 놓이게 하는 역할을 한다.

지방조직은 조직을 구성하고 있는 세포들의 위치 구조, 색깔, 형태 등에 따라 두 종류로 구분할 수 있다. 일반적인 황색지방조직의 세포들은 완전히 발달하면 중앙에 한 개의 큰 지방방

울이 생긴다. 갈색지방조직은 많은 지방방울과 풍부한 갈색의 미토콘드리아를 함유한 지방세포로 이루어져 있다. 두 가지 지방조직 모두 혈관이 풍부하게 분포되어 있다. 염색을 통해 조사된 황색 지방 및 갈색 지방조직의 형태는 그림 18에서와 같다.

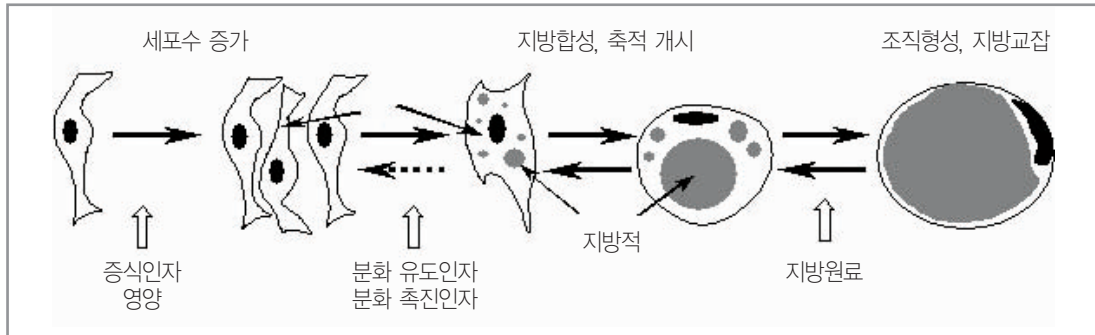
지방조직의 형성과정은 지방전구세포의 증식, 지방 전구세포가 지방세포로 분화(발달), 그리고 지방세포의 성숙으로 이어진다. 근육의 횡단면에 지방이 박혀 있는 것을 지방교잡(marbling)이라 하는데, 이 부분은 성숙한 지방세포가 모여 있는 구조이다. 성숙한 지방세포는 세포의 대부분이 지방으로 이루어져 있고, 지방의 핵은 한쪽 편에 있는 것을 알 수 있다.



〈그림 18〉 황색지방조직(A) 및 갈색지방조직(B)

근육 내에 출현한 지방세포가 조직을 형성하고 육안으로 확인할 수 있는 지방교잡이 되기 위해서는 지방세포 수의 증가와 지방세포의 크기가 커져야 한다. 지방세포 수의 증가는 지방세포가 2개로 분열하는 것을 의미하는 것이 아니라 지방전구세포가 어떤 자극에 의해 지방세포로 분화하는 것을 가리킨다. 이 분화의 과정에서 세포의 형태가 변하고, 지방이 합성되거나 세포 외에서 유입되는 지방축적 활동이 시작되어, 비로소 세포의 크기가 커지는 것이다. 지방조직의 형성 과정에 관한 모식도는 그림 19에서 보는 바와 같다.

지방교잡이 잘된 것은 지방세포의 집합이 근육 내에까지 들어가 있는 것을 말한다. 소에게서는 혈관이 2차는 물론 1차 근속 내부까지 퍼져(세혈관) 있고, 이 세혈관의 주위에 지방조직이 형성되기 때문에 소 특유의 지방교잡이 만들어지는 것이다.



〈그림 19〉 지방조직의 형성과정

참 고 문 헌

- 농림부. 한우사육길잡이. 2002. 대한인쇄사.
- 맹원재. 1988. 신제 반추동물영양학. 향문사.
- 한인규, 맹원재 외. 1988. 반추동물영양학. 향문사.
- Bailey, C. B. 1961. Saliva secretion and its relation to feeding cattle. III. The rate of secretion of mixed saliva in the cow during eating, with an estimate of the magnitude of the total daily secretion of mixed saliva. Br. J. Nutri. 15:443.
- Dziuk, H. E. and E. H. McCauley. 1965. Comparason of ruminoreticular motility patterns in cattle, sheep, and goats. Amer. J. Physiol. 209:324.
- Hespell, R. B. and C. J. Smith. 1983. Utilization of nitrogen sources by gastrointestinal tract bacteria. In Human intestinal Microflora in Health and Disease, Ed. D. J. Hentges. Academic Press, New York, pp.167-187.
- Jenkins, T. C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 76:3851~3863.
- Khan, M.A. 1976. Histochemical characteristics of vertebrate striated muscle; A review. Progress in Histochemistry and Cytochemistry 8:1.
- Licitra, G., T. M. Hernandez and P. J. Van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57:347~358.
- Mertens, D. R. 1992. Nonstructural and structural carbohydrates. In Large Dairy Herd Management. Ed. Van Horn, H. H. and C. J. Wilcox. Amer. Dairy Sci. Asso. pp.219.
- Murphy, M. R., R. L. Baldwin and M. J. Ulayatt. 1983. A quantitative analysis of rumination patterns. J. Anim. Sci. 56:1236.
- Phillipson, A. T. 1970. In Dukes' Physiology of Domestic Animals. 8th Ed. Comstock Publ. Asso., Ithaca, New York.
- Sellers, A. F. and C. E. Stevens. 1966. Motor functions of the ruminant forestomach. Physiol. Rev. 46:634.
- Sniffen, C. J., J. D. O'Connor, P. J. Van Soest, D. G. Fox and J. B. Russell. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diet: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70:3562~3577.
- Suzuki, A and Cassens, R.G. 1980. A histochemical study of myofiber types in muscle of the growing pig. J. Anim. Sci. 51:1449.
- Sisson, S. and J. D. Grossman. 1953. The Anatomy of the Domestic Animals. 4th. Ed. W. B. Saunders Co.