

가. 사료중 탄수화물의 대사

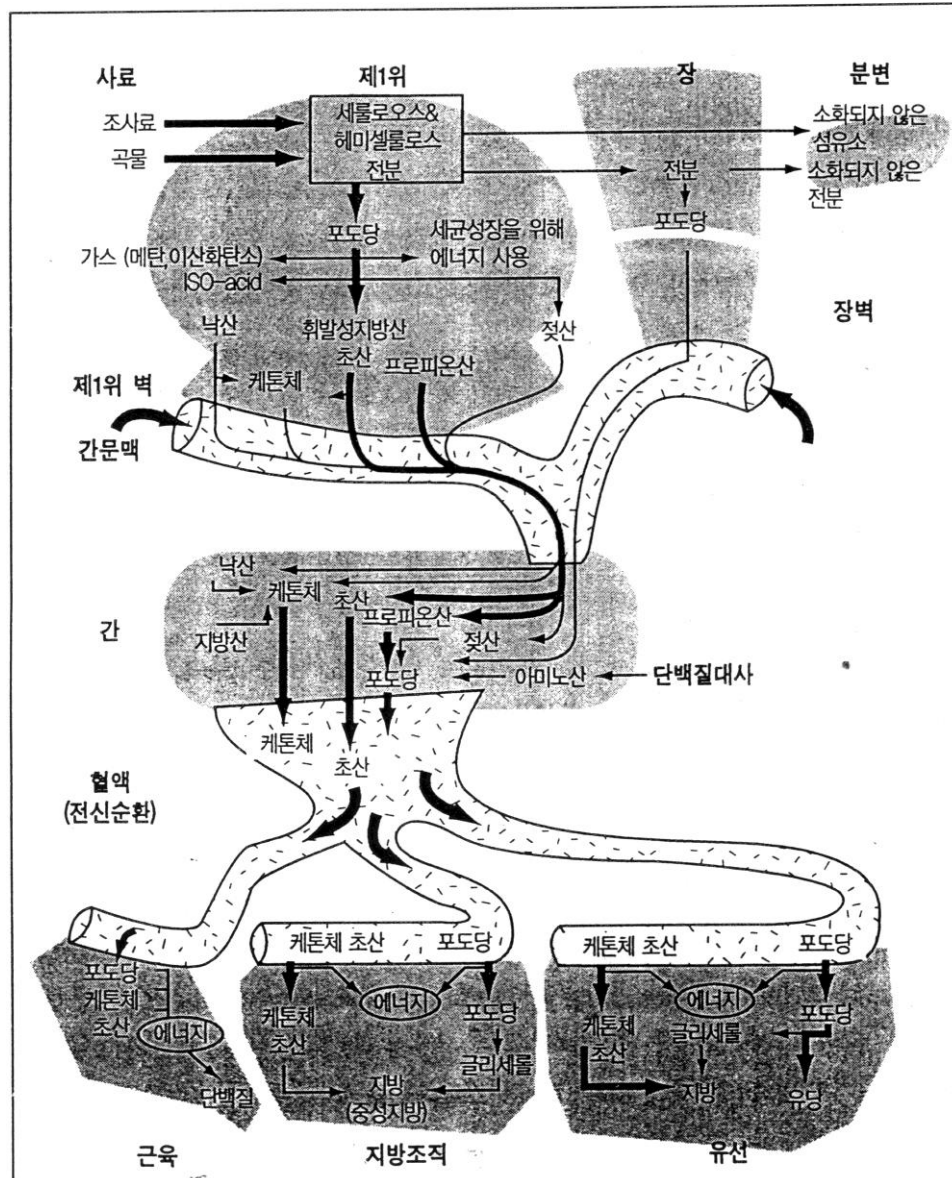
1) 사료중 탄수화물의 형태

사료중 탄수화물은 에너지의 가장 중요한 원천이며, 젖소 우유의 당(lactose)과 지방의 주요한 전구물질이다. 반추위에서 존재하고 있는 미생물은 젖소로 하여금 식물의 세포벽에 존재하는 리그린과 섬유소와 결합되어 있는 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스와 같은 섬유소성 탄수화물로부터 에너지로 이용될 수 있도록 한다. 섬유소는 부피가 크기 때문에 반추위에서 서서히 발효되어 오랜 동안 정체하고 있다. 식물이 성숙될수록 섬유소 중 리그린 함량이 많아지기 때문에 제 1 위내에서 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스의 발효량이 감소되어진다. 긴 입자 형태의 섬유소는 반추자극에 꼭 필요하며, 반추작용은 제 1 위 운동을 자극하며, 타액생산을 증가시키기 때문에 섬유소의 분해와 발효를 촉진시킨다. 타액에는 중탄산나트륨과 인과 같은 물질이 있어서 제 1 위의 산도를 중성으로 유지하는데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 사료 배합비에 섬유소가 부족하게 되면 일반적으로 우유 중 지방의 농도가 낮아지고 제 4 위전위와 산성증과 같은 소화장애를 일으킬 수 있다.

단당류와 전분과 같은 비섬유소성 탄수화물은 제 1 위에서 매우 빠르게 발효되고 거의 완전히 발효된다. 또한 비섬유소성탄수화물은 에너지 밀도가 높아 에너지 공급량을 증가시키므로 루멘내에서 생산되는 미생물 단백질 이용을 증가시킬 수 있다. 하지만 비섬유소성 탄수화물은 반추작용 또는 타액생산을 자극하지 못하고, 과량시에는 섬유소의 발효를 방해할 수 있다.

사료내 비섬유성 탄수화물의 양은 비섬유성탄수화물내 전분의 함량, 즉, 반추위내 전분과 비전분질 성분의 소화속도와 그 정도에 의해 영향을 받는다. 젖소에 있어서 비섬유성 탄수화물의 소화에 영향을 주는 몇 가지 요인들은 다음과 같다. 첫째, 반추위내 전분의 분해속도와 정도는 곡류에 따라 다르다. 즉, 곡류의 형태에 따른 반추위내 전분 분해속도는 귀리, 밀, 보리, 옥수수, 수수의 순이다. 구성 전분이 주로 아밀로스(amylose)형태냐, 아니면 아밀로펙틴(amylopectin)의 형태이냐에 따라서 전분의 소화율은 달라진다. 일반적으로 아밀로펙틴은 아밀로스에 비해 소화율이 높다. 둘째, 곡류를 가공할 경우 대부분은 반추위내에서 전분의 소화율과 소화속도가 증가한다. 입자도를 줄일 경우 미생물이 부착할 수 있는 곡류의 표면적이 증가한다. 스팀후레이크(steam plaking)와 같이 전분을 젤라틴화(gelatinization)시키는 가공방법은 전분의 형태를 변화시켜 반추위내에서의 이용성을 증가시킨다. 익스트루션(extrusion)이나 튀기기(popping)와 같은 다른 가공방법들도 반추위내에서의 전분의 이용성을 증진시킨다. 셋째, 곡류와 옥수수를 이용하여 사일리지를 제조할 경우 반추위내 전분 소화율은 증가된다. 이러한 경우 성상이 부드러워지고 수분함량이 증가해 수확이나 저장조로 부터 퍼낼 때 낱알이 잘 부서져 표면적을 넓게 한다. 특히, 수분함량이 낮은 사일리지의 옥수수 낱알은 반추위와 하부 소화기관에서 소화율이 낮아 종종 분으로

배설되는 경우가 많다. 넷째, 대부분의 전분은 반추위내에서 소화된다. 반추위 이하의 소화기관에서의 전분 소화와 흡수는 소장으로 들어오는 전분의 양이 증가함에 따라 감소한다. 모든 소화기관에서의 전분소화율을 85%로, 반추위내 분해도를 50%~75% 이상으로 하는 것이 바람직하다. [그림 2-2] 는 젖소의 소화기관에서 탄수화물의 대사과정을 요약한 것이며, 착유 소에 있어서는 제 1 위, 간, 유선이 탄수화물 대사의 주요 장기이다.



[그림 2-2] 사료 중 탄수화물의 대사과정

2) 휘발성지방산의 생성

반추위 발효시 미생물은 탄수화물을 각각 에너지, 가스, 열, 산으로 생성한다. 초산(acetic acid), 프로피온산(propionic acid), 낙산(butyric acid)과 같은 휘발성지방산은 제 1 위에서 생성되는 산의 95% 이상을 차지한다. 아미노산의 발효로 iso-acid 라고 불리우는 산을 생산하고 발효과정시 생성되는 에너지와 iso-acid 는 미생물 성장에 사용되어 진다. 이산화탄소와 메탄은 트림을 통하여 체외로 배출되어지고 메탄의 에너지는 손실된다. 또한 반추위 발효과정에서 생긴 열이 체온의 유지에 필요하지 않는다면 공기 중으로 배출되어 진다. 휘발성지방산과 미생물 발효의 최종 생산물은 제 1 위 벽을 통하여 간으로 흡수되어 진다.

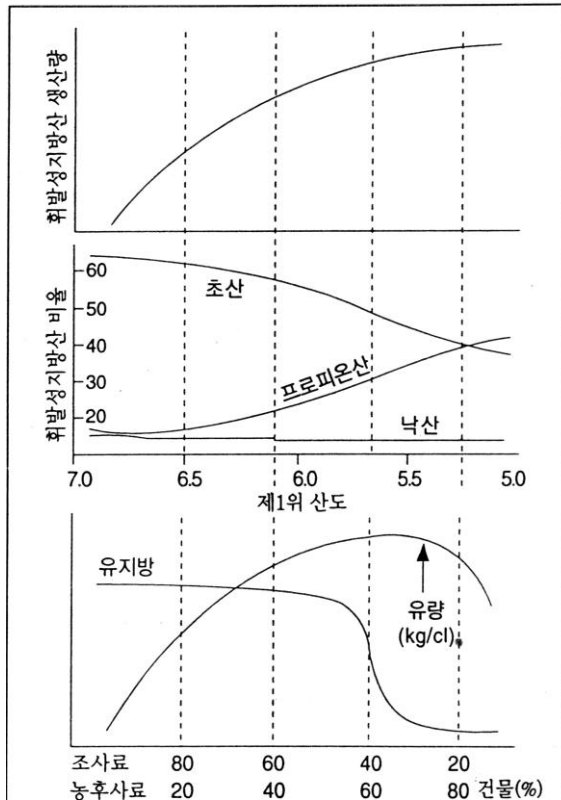
대부분의 초산과 모든 프로피온산은 간으로 이동하지만 낙산의 대부분은 제 1 위벽에서 베타하이드로브레이트(beta-hydrobutyrate)라고 불리우는 케톤체(ketone body)로 전환된다. 케톤체는 체내 대부분의 조직에 에너지 공급원으로 사용되어 진다. 한편, 케톤체는 주로 제 1 위에서 생성된 낙산으로부터 유래하지만 비유초기에는 체내지방조직의 이동으로부터 생긴다.

3) 간에서 포도당(glucose)의 생성

대부분의 프로피온산이 간에서 포도당으로 전환되고, 간에서의 포도당 합성에는 아미노산이 필요하다. 한편, 다른 소화관에서 흡수되는 포도당이 없기 때문에 간에서의 포도당 생성과정은 매우 중요하다. 즉, 정상적으로 20kg 의 우유를 생산하기 위해서는 900g 의 포도당이 간에서 생성되어야 한다. 그러나 젖소가 반추위 비분해성 전분을 섭취하거나 전분을 과량 섭취하였을 경우에는 예외적으로 전분이 소장에서 소화된 후 포도당으로 흡수된 다음, 간으로 운반되어져 젖소에게 포도당을 공급하게 된다. 또한 잘 관리된 사일리지에 많이 함유된 초산도 간에서 포도당 공급원으로 작용하지만, 제 1 위에서 초산 생성은 사료 중 전분이 과다하게 공급되었을 때 이루어진다. 이와 같은 현상이 계속될 경우에는 제 1 위내 산도가 산성화가 되어 섬유소 발효가 중지되고 심할 경우에는 사료섭취를 중단할 수 있다.

4) 사료조성에 따른 휘발성 지방산 생산과 유량의 변화

사료 중 탄수화물은 제 1 위에서 생성되는 휘발성지방산의 양과 종류에 영향을 준다. 일반적으로 조사료의 양이 충분하게 공급되었을 때 반추위미생물이 탄수화물을 휘발성지방산으로 전환하며, 그 비율은 초산이 전체의 65%, 프로피온산이 20%, 낙산이 15%를 나타낸다. 즉 조사료를 과다하게 공급하였을 경우에는 초산이 충분히 공급되어 유지방 생성이 최대화에 도달하지만 제 1 위에서 프로피온산이 제한되기 때문에 특히 비유초기에는 포도당 공급의 제한으로 우유생산량이 감소된다.



[그림 2-3] 사료의 조성이 휘발성지방산 생성과 유량에 미치는 영향

농후사료에 주로 함유되어 있는 비섬유소성 탄수화물은 프로피온산 생성을 촉진한다. 반면에 조사료 중에 함유되어 있는 섬유성탄수화물은 제 1 위내에서 초산의 생성을 자극한다. 또한 비섬유소성탄수화물은 좀더 신속하게 그리고 완전히 발효되기 때문에 휘발성지방산의 생성을 증가시킨다. 이와 같이 농후사료를 급여했을 경우 휘발성지방산 생성이 증가하고 초산 대신에 프로피온산의 비율이 증가하게 된다(그림 2-3). 다시 말해서 사료중 농후사료 비율을 증가시키거나 조사료를 세절하여 급여했을 경우에는 초산의 비율이 40% 이하로 떨어지고, 프로피온산 비율이 40% 이상 증가하기 때문에 프로피온산에서 포도당 공급이 증가하게 되므로 유량증가를 가져오게 된다. 하지만 유지방 합성에 이용되는 초산의 공급이 제한되기 때문에 일반적으로 우유 중 지방의 농도가 감소하게 된다.

또한 초산에 비하여 상대적으로 프로프온산의 증가는 우유합성보다는 체지방 축적을 가져오게 된다. 그러므로 사료 중 농후사료를 과다하게 급여했을 경우에는 젖소의 비만을 가져올 수 있다. 이렇게 계속되는 농후사료의 급여는 과비로 인하여 난산을 유도하게 되고 지방간과 케토시스를 발병하여 젖소의 건강에

부정적인 영향을 준다. 반대로 사료 중 농후사료의 비율이 부족했을 경우에는 에너지 섭취부족으로 우유 생산과 유단백질의 감소를 가져올 수 있다. 위의 내용을 종합해 볼 때 사료 중 농후사료와 조사료 비율의 변화는 제 1 위에서 생성되는 휘발성지방산의 비율에 매우 큰 영향을 줄 수 있으며, 휘발성지방산은 우유생산, 유지방 비율, 사료에서 우유로의 효율적인 전환, 대사성질병과 과비에 절대적인 영향을 미친다.