말의 소화기능의 특징과 조사료의 이용

연 사 : Kondo. S. 교수

소 속 : 北海道대학교

말의 소화기능의 특징과 조사료의 이용

近藤誠司(Kondo. Seiji)
북해도대학 대학원 농학연구과 교수

Ⅰ. 초식동물의 소화기관

말은 본래 초식동물(Herbivore)이다. 현재 경주용이나 승용(乘用)으로 사육되고 있는 말은, 통상적으로는 건초나 생초 등 초본류(草本類)를 중심으로 하는 조사료이외에 곡류(농후사료)나 배합사료가 급여되어, 이것들을 섭취한다. 단지 말은 어디까지나 그 진화과정에서 초본류를 영양섭취의 중심으로 발달한 동물이며, 말의 소화기관을 이해하기 위해서는 "풀을 먹고 살아간다" 는 것을 이해해야 할 것이다. 그러기 위해서는 사료로서의 초본류(조사료)의 조성성분을 이해할 필요가 있다.

포유류의 몸은 내부에 강한 골격을 갖고 있으며 그 주위를 근육이나 지방조직이 둘러싸고 있는 구조로 되어 있다. 단순히 건축물로 비교하면 기둥을 세우고 그 주위에 점토를 붙인 구조물이다. 한편 식물은 전체가 세포벽(細胞壁)이라는 강력한 구조성(構造性)을 갖고 있는 세포로 되어 있으며, 건물로 비교하면 기와를 잘 쌓아올린 구조로 되어 있다. 이로 인하여 거목(巨木)은 공중 높이 서는 것이 가능하며, 또한 주변의 야생화라도 줄기의 힘으로 입이나 꽃을 공중에 높이 쳐들 수가 있다.

인간이나 고양이 그리고 개가, 조사료 등 식물체 섭취만으로 성장이나 생산을 유지할 수 없는 이유는 말 그대로 이 식물을 지탱하고 있는 세포벽을 소화할 수 없기 때문이다. 물론 세포벽의 구성물질은 부드러운 세포내용물로서 영양소 함량은 높다. 인간이 식물체만을 섭취하여 살아가기 위해서는 이 견고한 세포벽을 부수고 세포벽 구성성분과 내용물을 동시에 소화흡수 할 필요가 있다. 이 세포벽의 주요한 구성물질은 구조성탄수화물로서 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등으로 섬유질성분이라 불리우는 물질이다.

흰개미를 제외하고 모든 동물은 이러한 섬유질성분을 소화하는 효소를 분비하지 않는다. 물론 이빨로 씹어 파쇄하므로서 몇 개의 영양소가 소화흡수 가능하나, 이것으로 충분한 영양소섭취를 할 수는 없다.

그러면 초식동물은 어떻게 하여 이 세포벽을 부수어 풀로부터 영양소를 섭취하고 있을까? 그 비밀은 소화관내에 서식하는 미생물작용에 있다. 초식동물은 소화관내

에 있는 미생물, 즉 프로토조아(원생동물)이나 박테리아(세균) 및 곰팡이류(진균)를 서식시켜 이들에게 세포벽을 발효분해시켜, 거기서 생산되는 생성물을 소화흡수하고 있는 것이다. 그리고 이러한 미생물이 다량 서식하고 있는 장소가 소화관의 앞부분(前部)의 위(胃)에 있는지, 아니면 소화관 뒷부분(後部)의 대장(大腸)근처에 있는지에 따라 초식동물을 분류할 수 있다. 전자는 전위발효동물(前胃醱酵動物)이며, 소나 양 등 반추동물이 그 대표적이다. 후자는 후장발효동물(後腸醱酵動物)이라고 불리워지며, 맹·결장을 발효조(醱酵槽)로서 갖는 말과 토끼 등이 여기에 속한다. 이상에서 본 고에서는 후장발효동물인 말의 소화기관을, 반추동물로 대표되는 소와 비교하여 검토하여 본다.

Ⅱ. 소의 위(胃)와 말의 장(腸)

그림 1에는 인간이나 돼지의 소화관과, 소 등 반추동물의 소화관 및 말의 소화관의 구조를 모식도로 나타냈다. 어떤 종류의 동물도 기본적으로 입으로부터 식도가 위에 연결되어, 위부터 십이지장, 소장, 대장을 경유하여 항문에 이르게 된다. 엄밀히 말하면 소장은 공장(空腸)과 회장(回腸)으로 되어 있으며, 대장은 맹장, 결장 및 직장으로 되어 있다.

반추동물은 위가 몇 개로 나누어져 있으며, 소는 4부위로 되어 있다. 1위와 2위를 합쳐서 반추위라고 하며, 이 부분에 미생물이 서식하여 섭취한 사료(食塊)를 발효분해한다. 소의 반추위는 200리터에 달하는 거대한 발효조를 형성하고 있다. 그림에서와 같이 이러한 반추위 등을 제외한 제 4위 이후는 인간의 소화관과 같다. 그 작용도 4위 이후는 인간, 돼지, 개, 고양이와 동일하다고 생각할 수 있다.

섭취된 식물체는 반추위에서 미생물의 공격을 받는다. 문제의 세포벽을 구성하는 구조성 탄수화물(構造性 炭水化物)중 리그닌 이외는 미생물에 의하여 잘게 분해, 발효하여 휘발성지방산(VFA)이 되며, 위벽으로 흡수되어 소의 중요한 에너지원이 된다. 구조성탄수화물 이외의 소화하기 쉬운 탄수화물도 당연히 미생물의 작용에 의하여 발효한다. 물론 부분적으로는 그대로 제 4위로 흘러가는 탄수화물도 있다.

이 발효조는 단백질도 합성한다. 단백질은 아미노산의 화합물이며, 아미노산은 개략적으로 말하면 질소와 탄수화물로 되어 있다. 인간이나 돼지, 고양이, 개는 단백질을 먹지 않으면 아미노산을 섭취할 수 없다. 그러나 발효조를 갖는 동물은 미생물이 아미노산 합성을 할 수 있다. 즉, 섭취한 사료에 질소화합물이 있으면 미생물

은 이것을 암모니아로 바꾸어, 이 암모니아와 탄수화물을 먹고 아미노산으로서 자신의 몸을 만들어 낸다. 그리고 미생물체로서 제 4위에 흘러 들어간다. 물론 이곳에서 암모니아로서 반추위에서 흡수되는 질소도 있다.

또한 반추위에서는 단백질로서 섭취된 것도 일단 분해해 버린다. 물론 탄수화물과 같이 반추위에서 분해되지 않고 제 4위로 흘러가는 단백질도 있다. 어떤 경우든 제 4위 이하로 흘러들어간 사료유래의 단백질이나 미생물체 단백질은 우리가 고기를 먹었을 때와 같이 위에서 소화되며, 소장이후에서 흡수된다. 반추위는 이외에도 비타민 B 군도 합성한다.

한편, 말 등 후장발효동물에서는 위부터 소장까지가 인간이나 돼지와 같은 소화기관을 가지고 있다(그림 1). 즉, 섭취한 식물체는 이빨로 씹어 부수며, 소장을 통과할 때까지는 우리가 식물체를 먹었을 때와 동일한 소화흡수의 과정을 거친다. 식물체에 함유되어 있는 단백질이나 구조성 탄수화물이외의 탄수화물, 예를들면 전분이나 당류등은 우리와 똑같이 소화흡수되게 된다. 소의 반추위와 같이 구조성탄수화물의 발효분해와 단백질의 합성은 대장에 들어간 후부터 시작된다. 즉, 말에서는 미생물에 의한 주요한 발효분해가 소화관의 후반, 맹·결장 등 후부소화관에서 이루어진다.

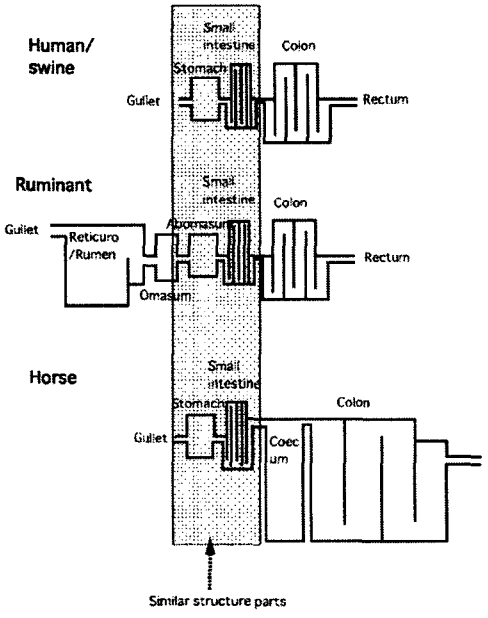

Fig. 1. Digestive tract of animals

말의 소화관의 구조를 그림 2에 제시하였다. 위는 성마(成馬)에서는 15리터 정도의 크기이며, 식도구조상 되새김은 할 수 없다. 소장은 십이지장(duodenum), 공장(jejunum), 회장(ileum)으로 되어 있다. 대장은 1.2m로 30리터의 용적을 갖는 맹장(coecum), 3-3.5m이며 약 70리터의 대결장(大結腸, large colon), 또한 3-3.5m의 소결장(小結腸, small colon)으로 구성되어 있으며, 30-40cm 로 짧지만 약 20kg의 분(糞)을 저장하는 직장과 연결되어, 항문을 경유하여 몸 밖으로 연결된다. 같은 체중의 반추동물인 소가 약 200리터의 발효조를 갖는 것에 비해 말은 대장의 발효조가 100리터로 소의 절반 정도이다.

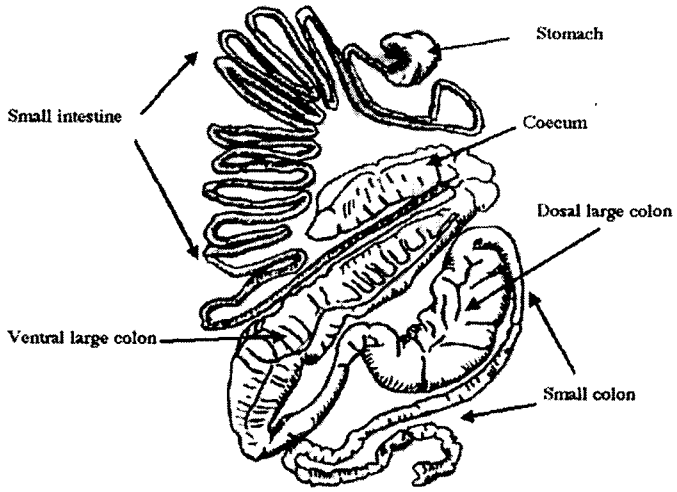

Fig. 2. Digestive tract of horse

Ⅲ. 소와 말의 식초(食草) 행동(채식행동)

소와 말은 같은 초식동물이지만, 그 소화기관의 구조는 크게 다르며, 또한 풀을 먹는 행동, 즉 식초행동(食草行動, grazing behavior)도 다르다. 해부학적으로는 두부(頭部) 및 구강(口腔), 이빨이 다르다. 소는 위 턱의 이빨이 없지만, 그대신 이빨의 상판(齒床板)이 잘 발달되어 있다. 입술은 딱딱하여 식초시에는 거의 움직이지 않지만, 혀는 길게 아주 잘 발달되어 있다. 그러므로 소는 목초를 섭취할때에는 혀로 풀을 감아 뜯어 구강내에 삼키며, 위턱의 치상판(齒床板)과 아래턱의 이빨로 끼워 비틀어 뜯는다. 따라서 소는 너무 짧은 풀은 섭취하기가 어려우며, 상대적으로 장초(長草)적응형이라고 말할 수 있다.

식초시간도 아주 다르다. 소는 초지의 식생에 따라 다르나, 일일 식초시간은 6시간에서 7시간으로 알려져 있다. 한편 말은 평균 1000분, 약 15시간을 식초에 소비한다. 만약 400 kg의 소와 말이 모두 건물기준으로 체중의 2%정도 섭취하면 자신의 몸 유지는 가능하게 되며 이때의 섭취량은 8 kg 정도가 된다. 소가 6시간, 말이 15시간의 식초시간(食草時間)이라고 한다면 소는 1시간에 1,300 g, 말은 530 g 정도의 식초속도가 되며, 소가 채식효율은 좋다고 할 수 있다. 단지 소는 이 이외에도 반추(反芻)에 의한 되새김을 일일 9시간에서 11시간정도 하므로 만약 식초시간이 6시간정도이고 반추시간이 9시간 이였다면 일일 저작(詛嚼)시간(chewing rate)은 15시간이 되며, 말과 거의 비슷해진다. 즉, 단위당 식괴(食塊)가 받는 저작시간은 소와 말이 거의 비슷하다. 그리고 소의 식초 끽식속도(食草喫食速度, biting rate), 반추시 저작속도, 말의 식초끽식속도는 대략 1분간에 60회 전후이므로, 식괴 1 단위당 받는 저작회수는 양쪽 모두 동일하다고 할 수 있다.

Ⅳ. 말에서의 식물체의 소화흡수기구(消化吸收機構)

말의 소화기구에 대한 모식도를 그림 3에 제시하였다. 윗 그림이 섭취한 사료중의 탄수화물의 소화흡수를 나타내며, 아래 그림이 단백질을 나타내고 있다. 섭취된 사료중의 탄수화물중 당류, 전분, 지방 등은 소장에서 분해흡수된다. 한편, 식물체가 함유하고 있는 구조성 탄수화물, 즉, 인간의 소화관이라면 소화되지 않고 분으로 배출되어 버리는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 등은 대장에 서식하는 미생물의 발효분해작용을 받아 휘발성지방산(VFA)이 되며 장관벽(腸管壁)을 통해서 흡수된다. 조사료를 중심으로 섭취하였을 때는 말이 필요로 하는 에너지중 상당부분이 이 휘발성지방산으로부터 충당한다.

소화흡수된 VFA는 이용되는 에너지의 30%정도에 달한다. 여기에 하부소화관에서 생산된 VFA에는 초산, 낙산, 프로피온산이 70 : 20 : 10부터 75 : 15 : 10의 비율로 함유되어 있으나, 이중 프로피온산은 당신생(糖新生)에 기여하여 프로피온산 유래의 글루코스는 전체 글루코스의 7%를 차지한다고 한다.

이상에서와 같이 말의 에너지생산의 많은 부분이 사료중의 지방이나 섬유질성분 등 구조성 탄수화물에 유래하는 지방산으로 되어 있으며, 이러한 점에서 말은 인간과 같이 단순히 발효하기 쉬운 탄수화물(易醱酵性 炭水化物), 소화하기 쉬운 전분중

심의 탄수화물을 보충급여하면 되는 것이 아니다. 사료중의 발효하기 쉬운 탄수화물을 증가시키고 섬유질성분이 많은 건초 등 구조성 탄수화물의 비율이 저하하면 미생물에 의한 발효가 정상적인 범위을 벗어나 문제를 일으키는 경우가 많다. 사료중의 이러한 영양소의 성분변화에는 4-5일정도의 순치(馴致)기간을 두어야 한다고 하고 있다.

인간과 같은 포유류의 에너지 공급계(供給系)는 3개의 계(系)로 되어 있다. 인간의 단거리 달리기 등과 같이 단시간에 급격한 운동을 하는 경우에는 비유산성 기구(非乳酸性機構)인 ATP-CP계로부터 에너지가 공급되며, 마라톤과 같이 장시간에 내구력(耐久力)을 필요로 하는 운동에서는 유산소계(有酸素系)로부터 에너지가 공급된다. 이외에 무산소(無酸素)로 글리코겐으로부터 유산(乳酸)을 생성하면서 에너지를 만들어내는 무산소계(無酸素系)의 에너지공급계가 있으며, 30초에서 1분 30초 정도의 운동에서는 이것과 ATP-CP계가, 1분30초에서에서 3분정도의 운동에서는 이것과 유산소계로부터 에너지가 공급되는 것으로 알려져 있다.

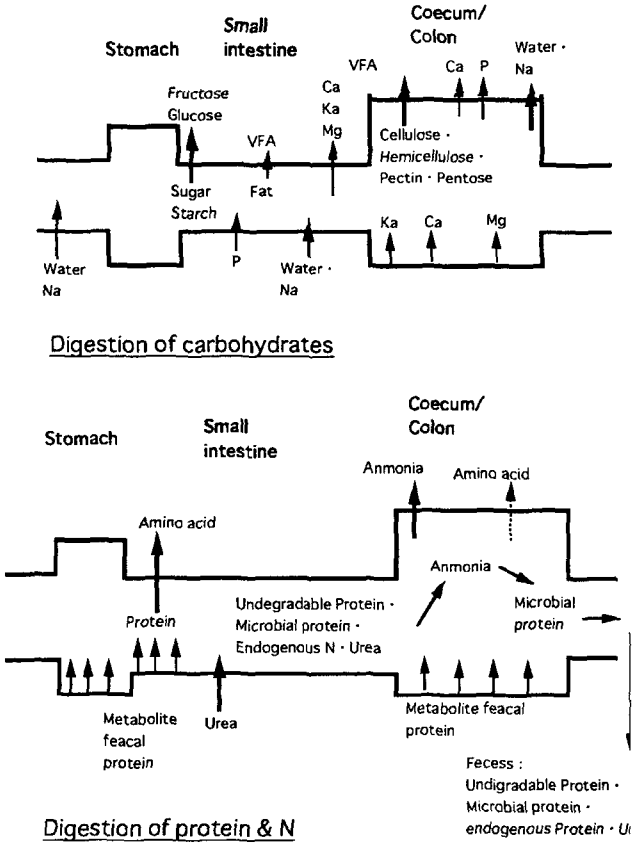

Fig. 3. Schema of digestion in horse(Meyer, 1986)

따라서 경주마(競走馬)의 경우 1,600m 정도의 경쟁까지는 무산소계의 에너지공급계의 비율이 높고, 그 이후 거리가 길어짐에 따라 유산소계 에너지공급이 많아진다는 것을 예상할 수 있다. 단, 최근 treadmill을 이용한 산소부하량으로부터 이러한 에너지공급계의 비율을 검토한 보고에서는 1,000m 정도의 경쟁에서도 유산소계가 많은 비율을 차지한다고 하고 있다. 이 보고에서는 quarter horse의 400m 레이스에서만이 무산소계의 비율이 유산소계보다 많고 3,200m에서는 전체에너지 공급의 93%가 유산소계에 의하여 충당된다고 하고 있다.

말의 운동과학에 관한 정보(자료)는 아직도 적지만, 현재까지의 사료급여의 가이드라인에서는 글루코스를 무산소계의 에너지원으로, 지방 또는 지방산을 유산소계의 에너지원으로 생각하고 있다. 사료중의 발효하기 쉬운 탄수화물은 글루코스의 유지를 위해 필요하며, 섬유질성분의 구조성탄수화물은 소화관과 미생물상의 상태유지에 필요하다.

최근 경주마 사료에 지방을 직접 첨가하는 급여방법이 자주 나타난다. 실제로 지방을 첨가하므로서 1,600m에서의 경쟁시간이 상승하였다는 보고도 있지만, 이 연구보고자 본인도 명확한 결론을 피하고 있다. 경주마의 영양에 관한 연구자의 대부분은 이러한 직접적인 지방급여가 에너지공급에 긍정적인 효과를 나타낸다고는 결론짓지 못하고 있으며, 보다 많은 연구가 필요하다고 강조하고 있다.

영양관리기술중에서 연구항목을 검토하는 파라메타(parameter)로서 체중이나 체격의 발달을 들 수 있다. 경주마의 경우 영양소공급의 결과에 관해서는 경쟁성적(競爭成績)이 최대의 파라메타이지만, Hintz (1994)가 지적하고 있는 것처럼 경주마의 에너지이용에는 말의 상태이외에, 트레닝정도, 기수의 능력 등 많은 요인이 복잡하게 얽혀 영향을 주므로 평가가 어렵다. 그러므로 체중이나 체격이 중요한 기준이 되지만, 단순히 체중, 체격만으로는 영양상태를 판단하기 어렵다. 또한 육성마에 관해서는 급속한 발육은 발육성 정형부전(發育性 整形不全, developmental orthopedic disease, DOD)을 일으킨다. 이러한 관점에서 미국에서는 body condition score를 일상적인 영양관리에 응용하는 것을 추천하고 있다. 실제로 젖소의 영양관리 세계에서는 20여년전부터 body condition score를 응용한 영양관리가 일상적으로 이루어지고 있으며, 이미 상식으로 되어 있다. 말의 영양관리기술중에도 이것을 적용해야만 할 것이다. 이미 일본의 "경종마(輕種馬)사양표준"에는 이러한 개념하에서 body condition score를 도입, 해설하고 있다.

한편 단백질은 섭취된 후, 위에서 소화효소와 혼합되어 소장에서 아미노산으로 흡수된다. 여기까지 분해되지 않은 단백질이나 각종의 질소화합물, 소장내의 미생물

단백질, 비단백태 질소화합물 등은 대장으로 흘러 들어가 거대한 발효조에서 미생물의 발효분해작용을 받는다.

대장에 유입된 질소화합물(단백질 및 비단백태 질소화합물)은 미생물의 발효분해작용을 받아, 암모니아가 되어 일부는 장벽을 통해 흡수되지만, 소의 반추위와 같이 미생물체에 붙어 버리는 질소도 많다. 그런데 소 등의 반추동물에서 만들어진 미생물체단백질은 그후 제 4위 및 장관에서 인간처럼 소화흡수의 과정을 거치지만, 말에서는 발효분해 후에는 직장과 항문밖에 없다. 이러한 이유에서 말의 미생물체단백질의 이용에 대하여는 불분명한 부분이 많다.

토끼 등 초식동물로 후장발효를 하는 동물은 식분(食糞)이라는 일종의 영양섭취행동이 나타난다. 일반적인 분과 냄새도 형상도 다른 부드러운 분(糞, soft feces)이라고 불리우는 맹장분(盲腸糞)을 배설하고 그것을 다시 섭취한다. 즉, 후장의 발효분해에서 만들어진 미생물체단백질을 일단 밖으로 배출하여, 다시한번 식도 ⇒ 위 ⇒ 소장 ⇒ 으로 통과시켜 소화흡수하려는 것이다.

그런데 말은 망아지(子馬)를 제외하고는 일반적으로 식분을 하지 않는다. 만약 그렇다면 만들어진 미생물체단백질은 어떻게 될까? 현재까지의 연구는 이러한 부분의 메카니즘을 명확히 설명하지 못하고 있다. 이렇게 만들어진 미생물체단백질은 말 자신의 영양소균형에는 별로 이용(공헌)하지 못하고 있는 것이 아닌가 하는 것이 현재까지의 결론이다. 또한 망아지의 식분은 자신의 엄마의 것 이외는 먹지 않는 것으로 되어 있어, 미생물상을 이식(移植)하기 위한 것으로 알려져 있다.

격렬한 운동을 하고난 말에서는 체내의 단백질이 소실된다. 이것은 땀으로 배출되는 것과 근육중에서 단백질이 파괴되는 것에 기인한다. 이를 위하여 단백질을 보충해야 하지만, 체중 1 kg당 2 g 이상의 단백질을 급여해서는 안된다고 하고 있다. 그 이유를 다음과 같이 들 수 있다.

1) 단백질섭취량의 상승에 따라 수분요구량이 증가한다.

2) 혈중요소(BUN)값이 상승한다.

3) 과잉의 질소배출을 위한 에너지 cost가 든다

4) 배설물중의 암모니아농도가 높아져 축사내가 오염된다.

실제로 이러한 단백질공급은 에너지공급과의 균형(balance)이라는 면에서 고려되어야 하며, NRC (1989)의 책임자인 Hinz 박사는 가소화단백질로서 섭취하는 가소화에너지 1 Mcal 당 40 g을 적정기준으로 해야한다고 하고 있다. 이렇게 단백질과 에너지의 비율은 아주 중요한 문제이며, 앞에서 서술한 지방의 문제를 포함하여 말의 사료중 탄수화물과 지방의 비율의 문제가 앞으로 말의 운동영양학을 발전시키는

keypoint가 될 것으로 되어 있다.

같은 초식동물이라도 소와 말에서는 아주 다른 소화기관의 구조를 갖고 있다. 이 구조의 차이는 각각의 초식동물의 급여사료를 고려함에 있어서도 다른 점이 있다는 것을 시사한다. 예를들면 단백질에 관하여 말하면 소 등의 반추동물에서는 섭취된 단백질은 일단 분해되어 아미노산이 재합성되므로 사료중의 아미노산 구성을 고려하여도 그대로 소가 흡수한다고는 단정할 수 없다. 한편, 말에서는 사료중의 분해되기 쉬운 단백질의 아미노산은 직접 소화흡수된다. 따라서 말의 급여사료에 관해서는 단백질 함량 뿐만아니라 아미노산 조성에 대하여도 고려할 필요성이 있다. 특히 육성마의 lysine에 관해서 유의하도록 제시되고 있는 것은 이러한 이유에서일 것이다.

단백질급여에 관해서는 일본의 "경종마(輕種馬) 사양표준"과 미국의 "말사양표준(NRC, 1989)"에서도 그리고 인간의 운동과학에서도 단백질의 아미노산조성에 까지 언급하고 있다. 인간에 관해서는 식물(食物, 음식)의 아미노산조성의 분석표가 비교적 정비되어 있으며 충분히 응용할 수 있는 상황에 있지만, 말의 사료에 관해서는 일반성분중에서 아미노산 조성은 공표되지 않은 것이 많다. 아미노산중 lysine이나 threonine은 근육증가의 제한요인(limiting factor)으로 보고되고 있으나 현재의 상황에서는 실제로 응용하기가 어렵다.

에너지 요구량에 대해서도 초식동물이라고 하지만 소화관의 전반(前半)은 인간의 소화관과 유사한 구조를 갖는다. NRC에서도 일본 경종마 사양표준에서도 에너지원에 관해서, 탄수화물을 당류와 구조성 탄수화물로 나누어 검토하고 있지 않지만, 이러한 탄수화물의 구조의 차이에 대해서도 보다 많은 연구를 진행할 필요가 있다.

V. 맺 음 말

경주마의 수준향상을 목적으로 할 경우, 구조상의 문제로서 중요한 것은 앞에서 서술한 바와 같이 말의 영양학적 식견부족과 그 지식의 보급, 그리고 말 생산농가 수준에서의 기술향상이라고 할 수 있다. 현재, 상당히 많은 경주마가 다양한 형태로 수입되고 있으며, 또한 경주용 경종마의 전부는 원래 외국으로부터 수입된 것이다. 여기에 일본의 경종마의 사료중 곡류는 모두 수입이며, 경종마 생산농가의 특징으로서 조사료도 수입에 의존하는 경우가 많다. 또한 영양학적인 지식에 관해서는 해외의 생산자도 일본의 생산자도 일부를 제외하고는 커다란 차이는 없는 것으로 사

료된다. 즉, 유전자원 모두와 사료의 대부분은 외국유래의 것이며, 그러한 점에서 이미 국제적으로 동일한 수준이라고 생각해도 좋다. 그렇다면 국제적인 수준과의 차이는 대략 사양관리기술에 유래하는 것으로 생각된다.

현재까지의 외국시찰 보고나 실제로 보고 들은 것을 고려하면 선진외국의 생산농가가 모두 과학적인 근거에 기초한 사양관리를 철저히 하고 있다고는 보이지 않는다. 단지, 기본적인 경험적인 뒷받침으로, 결과적으로 아주 합리적인 육성기술을 갖고 있는 것으로 추측된다. 일본에서나 한국에서나 생산농가의 지적 수준은 아주 높고 또한 의욕도 왕성하여, 최근에는 일부 말 생산농가의 자발적인 국제교류도 있지만, 현재는 각 생산자의 경우 말 육성에 관해서는 시행착오의 단계라고 할 수 있다. 한편 JRA에서는 경주마 종합연구소 등을 중심으로 일본의 사라브레드종의 표준발육곡선의 확립, "경종마 사양표준"의 발간, 경종마 body condition score의 응용과 보급을 정력적으로 진행하고 있다. 앞에서 서술한 말의 영양소 소화흡수에 관한 기구에 관해서도 이미 "경종마 사양표준"에서 서술하고 있으며, 이러한 지식을 적극적으로 적용하는 것은 국제경쟁력을 높이는 수단으로 아주 중요하다. 한국이나 일본의 경종마 생산이 국제적인 수준으로 이루어지기 위해서는 축적된 연구업적을 실제로 육성마 생산의 현장에 적용시켜 가는 방향도 검토해야만 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Hintz, H.F. and N.F. Cymbaluk, Nutrition of the horse, Annu. Rev. Nutr., 14:243-267, 1994.
2. Meyer, H., PferdeFuetterung, Verlag Paul Parey, Berlin, 1984.
3. 日本中央競馬會 競走馬綜合研究所編, 輕種馬飼養標準. 1998. アニマル・メデイア社 東京. 1989.
4. 天田明男. ウマのスポーツ醫學(日本中央競馬會 競走馬綜合研究所監修).アニマル・メデイア社. 東京, 1998.

ウマの消化機能の特徴と粗飼料の利用

近藤誠司
北海道大学大学院農学研究科

1．草食動物の消化器官

ウマは本来草食動物（Herbivore）である．現在、競走用や乗用として飼育されているウマは，通常は乾草や生草など草本類を主体とする粗飼料のほかに穀類（濃厚飼料）や配合飼料を給与され、これらを摂取している。ただし，ウマはあくまでその進化の過程で、草本類を栄養摂取の主体として発達してきた動物であり、ウマの消化機能を理解するためには，「草を食べて生きる」ということを理解すべきであろう．それには飼料としての草本類（粗飼料）の組成を理解する必要がある．

我々哺乳類の体は内部に強い骨格を持ち，その周囲を筋肉や脂肪組織が取り囲んでいる構造である．単純に建築物に例えて比較すると，柱を立ててそのまわりに粘土を張り付けたような構造物である．一方，植物は全体が細胞壁という強力な構造性を持った細胞からできており，建物に例えると煉瓦を積み上げたような構造になっている．であるが故に，巨木は空中高くそびえることができ，また辺りの野花でも茎の力で葉や花を空中に掲げることができる．

我々ヒトや猫や犬が，粗飼料など植物体摂取のみで成長や生産を維持できないのは，まさにこの植物を支えている細胞壁を消化できないからである。もちろん，細胞壁の中身は柔らかな細胞内容物で，栄養含量は高い．我々が植物体のみを摂取して生きていくためには，この堅固な細胞壁をうち砕き，細胞壁構成成分と内容物をともに消化吸収する必要がある．この細胞壁のおもな構成物質は構造性炭水化物といわれるもので，セルロース，ヘミセルロース，リグニンなどである．いわゆる繊維成分といわれる物質である．

シロアリを除いて，あらゆる動物はこうした繊維成分を消化する酵素を分泌しない．もちろん，歯でかみ砕くことによって幾分かの栄養分が消化吸収できる．しかし，これでは十分な栄養摂取はできない．

では草食動物はどうやってこの細胞壁の守りをうち砕き，草から栄養を摂取しているのであろうか？その秘密は消化管内に棲息する微生物の作用にある．

いわゆる草食動物は、消化管内にこれら微生物，すなわちプロトゾア（原生動物）やバクテリア（細菌）およびカビ類（真菌）を棲息させ，これらに細胞壁を発酵分解させて，その産物を消化吸収しているのである．そして，この微生物が多量に棲息している場所が消化管の前部の胃にあるか，もしくは消化管後部の大腸付近にあるか，で草食動物を分けることができる．前者は前胃発酵動物であり，ウシやヒツジなど反芻動物がその代表である。後者は後腸発酵動物とよばれ，盲結腸を発酵槽として持つウマやウサギなどが挙げられる．そこで，ここでは後腸発酵動物のウマの消化機能を、ウシに代表される反芻動物と比較検討してみる．

2．ウシの胃とウマの腸

図１に我々ヒトやブタの消化管と，ウシなど反芻家畜の消化管およびウマの消化管の構造の模式図を示した．どの種類の動物も，基本的に口から食道が胃につながり，胃から十二指腸，小腸，大腸を経て肛門へ至っている．厳密にいうと小腸は空腸と回腸からなり，大腸は盲腸，結腸および直腸からなっている．

反芻動物は胃がいくつかに別れており，ウシでは４部位からなる．１番目と２番目の胃を合わせて反芻胃といい，この部分に微生物が棲息し摂取された飼料（食塊という）を発酵分解する．ウシの反芻胃は２００Ｌにも及び巨大な発酵槽を形成している．図で分かるようにこれら反芻胃などを除いた第４胃以降は我々ヒトの消化器官と変わらない．その作用も第４胃以降はヒトやブタ，犬猫と同じと考えてもいいだろう．

摂取された植物体は反芻胃で微生物の攻撃を受ける．問題の細胞壁を構成する構造性炭水化物のうちリグニン以外は，微生物によってバラバラに分解され、発酵して揮発性脂肪酸（VFA）となり，胃壁から吸収されてウシの主要なエネルギー源となる．構造性炭水化物以外の消化しやすい炭水化物も当然微生物の作用により発酵する．もちろん全てではなくそのままで第４胃に流れ込む炭水化物もある．

この発酵槽はタンパク質も合成する．タンパク質はアミノ酸の化合物でありアミノ酸は粗々にいえば窒素と炭水化物から出来上がっている．ヒトやブタ，猫、犬はタンパク質を食べなければアミノ酸を摂取できない．しかし，発酵槽

をもった動物は微生物がアミノ酸合成を行うことができる．すなわち，摂取した飼料に窒素化合物があれば，微生物はこれらをアンモニアに変え，このアンモニアと炭水化物を食べてアミノ酸として自らの体を作り上げる．そして，微生物体として第４胃に流れ込む．もちろん，ここでアンモニアとして反芻胃から吸収されてしまう窒素もある．

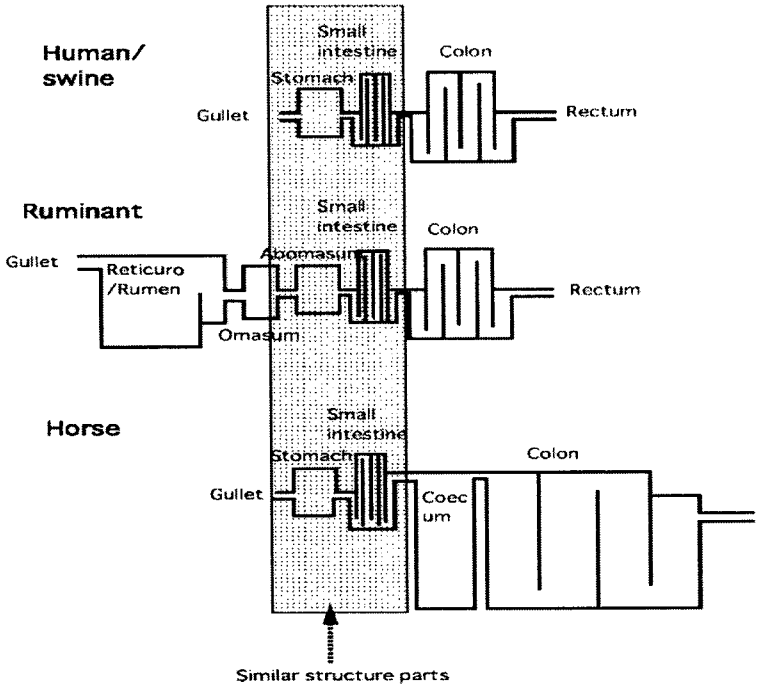

Fig. 1. Digestive tract of animals

なお，反芻胃ではタンパク質として摂取されたものも一旦分解されてしまう．もちろん炭水化物と同様に反芻胃で分解されず，第４胃に流れ込むタンパク質もある．いずれにせよ，第４胃以降に流れ込んだ飼料由来のタンパク質や微生物体タンパク質は，我々が肉を食べたときと同様に胃で消化され，小腸以降で吸収される．反芻胃はこのほかビタミンＢ群も合成する．

一方，ウマなど後腸発酵動物では胃から小腸までが我々ヒトやブタと同じ消化器官を持っている（図１）．すなわち，摂取された植物体は歯でかみ砕かれて，小腸を通過するまでは我々が植物体を食べた時と同じような消化吸収の過程を受ける．植物体に含まれたタンパク質や構造性炭水化物以外の炭水化物，たとえばデンプンや糖類などは我々と同じように消化吸収されることになる．

ウシの反芻胃と同じような構造性炭水化物の発酵分解と蛋白質の合成は大腸に入ってから行われる．すなわち，ウマでは微生物による主要な発酵分解は消化管の後半、盲結腸など後部消化管で行われる．

ウマの消化管の構造を図2に示した。胃は成馬で15リットル程度の大きさで、食道の構造から吐き戻しはできない。小腸は十二指腸（duodenum）、空腸（jejunum）、回腸（ileum）からなる。大腸は1.2mで30リットルの容積を持つ盲腸（coecum）、3～3.5mでおよそ70リットルの大結腸(large colon)、同じく3～3.5mの小結腸(small colon)からなり、30～40cmと短いながら約20kgの糞を貯留する直腸へとつながり、肛門を経て体外へつながる。同じくらいの体重の反芻動物であるウシが約200リットルの発酵槽を持つのに対して、ウマの大腸の発酵槽は100リットルとほぼ半分である。

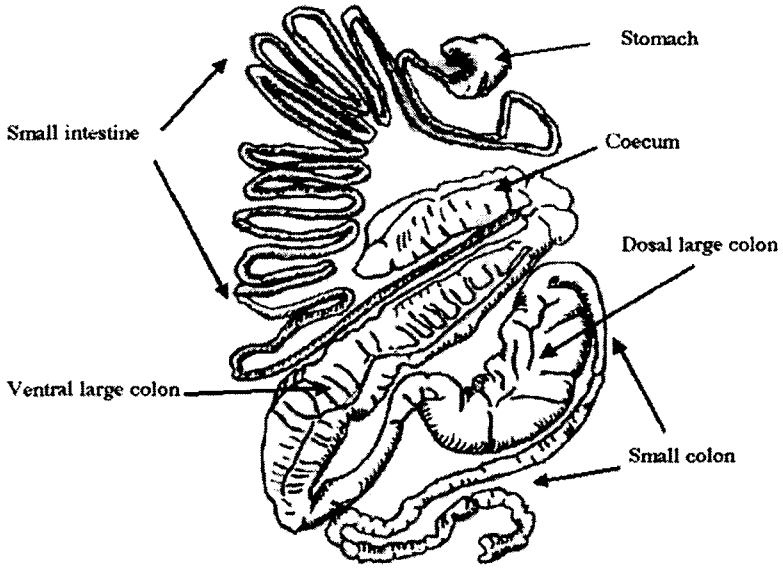

Fig. 2. Digestive tract of horse

3．ウシとウマの食草行動

ウシとウマは同じ草食動物であっても、その消化器官の構造は大きく異なり，またその食草行動（Grazing behavior）も異なる。解剖学的には頭部および口腔、歯が異なっている。ウシは上顎切歯がなく、その代わりに歯床板がよく発達している。口唇は堅く食草時にほとんど働かないが、舌は長く発達も著しい。

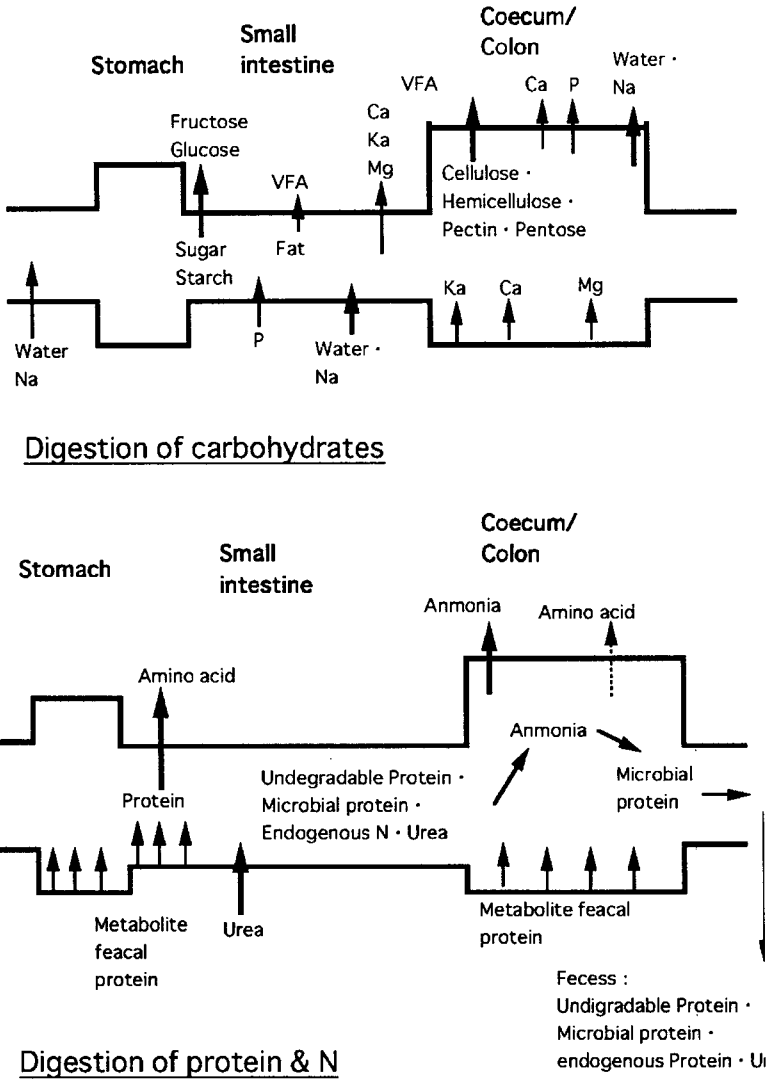

Fig. 3. Schema of digestion in horse(Meyer, 1986)

従って、ウシは牧草を摂取するときには舌で草を巻き取って口腔内に取り込み、上顎歯床板と下顎切歯で挟んでちぎり取る。従ってあまり短い草丈の牧草は食草できない。相対的に長草適応型といえる。

一方、ウマは上顎下顎とも切歯はよく発達し、また口唇は柔らかく機能的である。従って、草丈の短い牧草も唇で口腔内に取り込み、上下の切歯で噛りとる。ウシとは逆に、相対的に短草に適応的である。

食草時間も大きく異なる。ウシは草地の植生にもよるが、一日の食草時間は6から9時間であるといわれている。一方、ウマは平均で 1000 分、およそ

１５時間を食草に費やす。もし 400kg 程度のウシとウマがいるとすると、どちらも乾物で体重の２％程度摂取すれば、体は維持できるから必要量は８kgDM 程度の摂取量となる。ウシが６時間、ウマが１５時間の採食時間であるとすると、ウシは１時間に 1300g、ウマは 530g 程度の採食速度となり、ウシの方が採食効率はいい。ただし、ウシはこのほかに反芻による噛み返しを１日９から 11 時間行うので、もし食草時間が６時間程度で反芻時間が９時間であったとすると、１日の咀嚼時間は 15 時間となり、ウマと等しい。すなわち単位あたりの食塊が受ける咀嚼時間はウシもウマもほぼ等しい。なお、ウシの食草喫食速度、反芻時咀嚼速度、ウマの食草喫食速度はおおむね１分間あたり 60 回前後なので、食塊１単位あたりがうける咀嚼回数はどちらも同じ程度になるだろう。

４．ウマにおける植物体の消化吸収機構

ウマの消化機構について模式的に図３に示した．上の図が摂取された飼料中の炭水化物の消化吸収を示し，下の図がタンパク質を表している．摂取された飼料中の炭水化物のうち，糖類，デンプン，脂肪などは小腸で分解吸収される一方，植物体が含む構造性炭水化物，すなわち我々ヒト消化管だと消化されずに糞中に排出されてしまうセルロース，ヘミセルロース，ペクチンなどは大腸に棲む微生物の発酵分解作用を受けて揮発性脂肪酸（VFA）となり腸管壁ごしに吸収される．粗飼料を主体に摂取したときは，ウマが必要とするエネルギーのうち，かなりの部分がこの揮発性脂肪酸でまかなわれる．

消化吸収された VFA は利用されるエネルギーの 30％にも達する。さらに下部消化管で産生された VFA には酢酸、酪酸、プロピオン酸が 70：20：10 から 75：15：10 の割合で含まれるが、このうちのプロピオン酸は糖新生に貢献し、プロピオン酸由来のグルコースは全グルコースの７％を占めるという。

以上のように、ウマのエネルギー産生の大きな部分が飼料中の脂肪や繊維成分など構造性炭水化物に由来する脂肪酸で占められており、この点で我々ヒトのような形で単純に易発酵性の炭水化物、消化しやすいデンプン主体の炭水化物を補給すればよいというものではない。飼料中の易発酵性炭水化物を増やし、繊維成分の多い乾草など構造性炭水化物の割合が低下すると、微生物による発酵が正常な範囲をはずれ異常を来すことが多い。飼料中のこう

した栄養素の成分変化には４～５日程度の馴致期間をおくべきであるとされている。

我々哺乳類のエネルギー供給系は３つの系からなっている。ヒトの短距離走など短時間で急激な運動には非乳酸性機構である ATP−CP 系からエネルギーが供給され、マラソンなど長時間で耐久力を必要とする運動では有酸素系からエネルギーが供給される。このほか、無酸素でグリコーゲンから乳酸を生成しつつエネルギーを生み出す無酸素系のエネルギー供給系があり、30 秒から１分30 秒程度の運動ではこれと ATP−CP 系が、１分30 秒～３分の運動ではこれと酸素系からエネルギーが供給されるとされている。

これによると、競走馬では1600m程度の競争までは無酸素系のエネルギー供給の割合が高く、それ以後距離が長くなるに従い有酸素系のエネルギー供給が多くなることが予想される。ただし、最近トレッドミル等を用いて酸素負荷量からこうしたエネルギー供給系の割合を検討した報告では、1000m程度の競争でも有酸素系が大きな割合を占めるとしている。この報告では、クオータホースの 400mレースのみが無酸素系の割合が有酸素系より多く、3200mでは全エネルギー供給の 93%が有酸素系によってまかなわれている。

ウマの運動科学に関する情報は限られているが、現在までの飼料給与のガイドラインでは、グルコースを無酸素系のエネルギー源として、脂肪もしくは脂肪酸を有酸素系のエネルギー源として考えられている。飼料中の易発酵性炭水化物はグルコースの維持のために必要であり、繊維成分からの構造性炭水化物は消化管と微生物相の常態維持に必要である。

最近、競走馬の飼料に脂肪を直接添加する給与法がよく見られる。実際に、添加することにより 1600mでの競争のタイムが上がったという報告もあるが、この研究の報告者自身も明確な結論を避けている。競走馬の栄養に関する研究者の大半は、こうした直接の脂肪給与がエネルギー供給にポジティブな効果を生むとは結論できないとしており、さらなる研究が必要なことを強調している。

栄養管理技術の中で、成果を検討するパラメータとして体重や体格の発達があげられる。競走馬においては栄養供給の結果については競争成績が最大のパラメータであるが、Hintz （1994）が指摘しているように、競走馬のエネルギー利用には、ウマの状態の他、トレーニングの程度、騎手の能力などたくさんの要因が複雑に絡み合って影響しており評価が難しい。そこで体重や体格が大きな目安となるが、単に体重・体格のみでは栄養状態は判断できない。また、

育成馬については急速な発育は発育性整形不全（Developmental Orthopedic Disease :DOD）をおこす。こうした観点から、米国ではボディコンディションスコアを日常的な栄養管理に応用することが推奨されている。実際、乳牛の栄養管理の世界では20年ほど前からボディコンディションスコアを応用した栄養管理が日常的に行われており、もはや常識となっている。ウマの栄養管理技術の中にも組み入れて行くべきであろう。すでに日本の「軽種馬飼養標準」にはこうした考え方から、ボディコンディションスコアを取り上げて解説している。

一方，タンパク質は摂取されたのち，胃で消化酵素と混ぜ合わされ，小腸でアミノ酸として吸収される．ここまでで分解されなかったタンパク質や各種窒素化合物、小腸内の微生物態タンパク質，非タンパク態窒素などは大腸に流れ込み，この巨大な発酵槽で微生物の発酵分解作用を受ける．

大腸に流入した窒素化合物（タンパク質および非タンパク態窒素）は微生物の発酵分解作用を受けて，アンモニアとなり一部は腸壁ごしに吸収されるが，ウシの反芻胃と同様に微生物体にとりこまれる窒素も多い．ところがウシなど反芻家畜では作られた微生物体タンパク質はその後，第４胃および腸管で我々と同じ消化吸収の過程を経るが，ウマでは発酵分解の後は直腸と肛門しかないここで作られた微生物体タンパク質の利用については不明な部分が多い．

ウサギなど，やはり草食動物で後腸発酵を行う動物は，食糞という一種の栄養摂取行動がみられる．通常の糞と匂いも形状も異なるソフトフィーシズ（軟らかい糞，Soft feces）と呼ばれる盲腸糞をだし，これを摂取する．すなわち，後腸の発酵分解で作られた微生物体タンパク質を一旦体外に排出し，もう一度食道→胃→小腸→と通過させ，消化吸収しようとするものだ．

ところがウマは子馬を除いて通常は食糞しない．とすると，作られた微生物体タンパク質はどうなるのであろう．現在までの研究はこの辺りのメカニズムを明確に説明していない．こうして作られた微生物体タンパク質はウマ自身の栄養バランスには余り大きな貢献はしていないだろうというのが現在の一応の結論である．なお，子馬の食糞は親のそれしか食べないとされ，微生物相を移植するためだろうといわれている．

激しい運動を課したウマでは、体内のタンパク質が失われる。これは汗に出るものと筋肉中でタンパク質が破壊されることによる。このため、タンパク質を補給すべきであるが、体重１ｋｇあたり２ｇ以上のタンパク質を給与すべきではないとされている。それは、以下の理由が考えられている；

①タンパク質摂取量の上昇に伴い水分要求量が増える

②血中尿素（BUN）値が上昇する
③余剰の窒素排出のエネルギーコストがかかる
④排泄物中のアンモニア濃度が高まり厩舎内が汚染される

実際にこうしたタンパク質供給はエネルギー供給とのバランスの上で考えるべきであり、NRC1989 の責任者である Hinz 博士は、可消化タンパク質として、摂取する可消化エネルギー　1 Mcal あたり 40 g を目安にすべきとしている。こうした、タンパク質：エネルギー比は非常に大きな問題であり、前述の脂肪の問題も含めて、ウマの飼料中の炭水化物：タンパク質：脂肪の比の問題が今後のウマの運動栄養学を発展させるキーポイントになるであろうとされている。

同じ草食動物でも，ウシとウマでは大きく異なる消化器官の構造をもっている．この構造の違いはそれぞれの草食動物の給与飼料を考える上で，異なる点があることを示唆する．例えば，タンパク質に関していえば，ウシなど反芻家畜では摂取されたタンパク質は一旦分解されアミノ酸が再合成されるから，飼料中のアミノ酸構成を考慮してもそのままウシが吸収するとは限らない．

一方ウマでは，飼料中の分解されやすいタンパク質のアミノ酸は直接消化吸収される．従って，ウマの給与飼料についてはタンパク質含量のみならず，アミノ酸組成についても考慮する必要があるかもしれない．米国のウマ養分要求量（ＮＲＣ）では，特に育成馬の Lysine について留意するよう示されているのはこうした理由だろう．

タンパク質給与については、日本の「軽種馬飼養標準」および米国のウマ「飼養標準」（NRC、1989）でも，ヒトの運動科学でもアミノ酸組成にまで言及している。ヒトについては食物のアミノ酸組成の分析表が比較的整備されており、十分応用できる状況にあるが、ウマの飼料については一般成分の中でアミノ酸組成は公表されてないものが多い。アミノ酸のうち、Lysine や Threonine は筋肉増加のリミティングファクターであることが報告されているが、現在の状況下では実際には応用が難しい。

エネルギー要求量についても，草食動物とはいいながらも消化管の前半は我々の消化管と近似した構造をもつ．ＮＲＣも日本の軽種馬飼養標準も，エネルギー源について炭水化物を糖類と構造性炭水化物に分けて検討してはいないがこうした炭水化物の構造の違いについても一層の研究を進める必要はあるだろう．

5．終わりにかえて

競走馬のレベル向上を目的とするときに、構造上の問題として大きいのは、上述のようなウマの栄養学的知見の不足とその知識の普及、および生産農家レベルでの技術の向上であろう。現在、非常にたくさんの競走馬が様々な形で輸入されており、また日本の競走用軽種馬のすべては本来外国から輸入されたものである。さらに、日本の軽種馬の飼料のうち、穀類はすべて輸入であるし、軽種馬生産農家の特徴として、粗飼料も輸入に頼ることが多い。また栄養学的な知識については海外の生産者も我が国の生産者も一部を除いて大きな差はないものと思われる。すなわち、遺伝資源のすべてと飼料の大半は外国由来のものであり、その点で既に国際レベルと同程度と考えていい。となると、国際的なレベルとの差は概ね飼養管理技術に由来することになる。

現在までの諸外国視察報告や実際の見聞からも、先進諸外国の生産農家がすべて科学的根拠を基にした飼養管理を徹底しているようには見えない。ただし、基本的に経験に裏打ちされた、結果的に極めて合理的な育成管理技術を持つものと推察できる。日本においても韓国においても生産農家の知的レベルは極めて高く、また意欲も盛んで、近年では一部生産者の自主的な国際交流も盛んであるが、現状では各生産者は育成については試行錯誤の段階であろう。

一方では、ＪＲＡでは競走馬総合研究所などを中心に、わが国のサラブレッド種の標準発育曲線の確立、「軽種馬飼養標準」の発刊、軽種馬ボディコンディションスコアの応用・普及などを精力的に進めてきている。前節で述べたウマの栄養素消化吸収に関する機構についても、すでに「軽種馬飼養標準」で簡明に概説されており、こうした知識を積極的に取り入れていくことは国際競争力を付ける上で、是非とも必要である。韓国や日本の軽種馬生産が国際的なレベルで行われるためには、蓄積された研究業績を実際の育成馬生産の現場に展開していく方向も検討すべきではないだろうか。

参 考 文 献

1. Hintz, H.F. and N.F. Cymbaluk, Nutrition of the horse, Annu. Rev. Nutr. 14:243−267, 1994.
2. Meyer, H., PferdeFuetterung, Verlag Paul Parey, Berlin, 1984.
3. 日本中央競馬会競走馬総合研究所編、軽種馬飼養標準、アニマル・メディア社、東京、1998.
4. 天田明男、ウマのスポーツ医学、（日本中央競馬会競走馬総合研究所監修）、アニマル・メディア社、東京、1998.