

## 비육용 곡물사료의 가공방법과 증체효율

김 영 길<sup>†</sup>

동아대학교 축산학과

## Effects of Grain Processing on Feed Efficiency for Beef Production

Young-Kil Kim

Department of Animal Science, Dong-A University, Pusan, Korea

### Abstract

The studies had been conducted to evaluate the grain processing effects for ruminants on starch digestion, body weight gain and feed efficiency since 1970. This research deals with experimental results on chemical structure, gelatinization, microbial starch digestion in rumen, intestinal starch digestion in rumen, roles of protozoa, intestinal starch digestion of bypass starch, limits to starch digestion in small intestine. The grain processing has different effects on digestion, weight gain and feed efficiency when different grain sources and contents is used, and the quality and quantity of roughage is different. The economical and efficient method of grain processing should be selected considering weight gain and feed efficiency enhancement than digestibility.

### 서 론

反芻動物의 에너지원으로 사용되는 炭水化合物은 주로 cellulose와 澱粉으로 구성되는데 粗飼料의 공급이 부족한 우리나라 실정에서는 가축의 濃厚飼料 공급량이 계속 증가하고 있으며 따라서 곡물사료의 60~70%를 차지하는 澱粉의 이용효율의 향상문제는 반추가축에서 대단히 중요하다 하겠다.

Owens 등<sup>1)</sup>이 곡류의 가공 방법에 따라 옥수수의 전소화관내 소화율이 88~98%로 차이가 있으며 Zinn<sup>2)</sup>도 옥수수의 반추위내 전분소화율이 71~89%로 큰 차이가 있었다고 했는데 곡류의 가공방법에 따라 전분의 반추위와 소장내에서의 소화율에 큰 차이가 생김으로 곡류의 에너지 이용효율을 높일 수 있는 효과적인 가공방법에 대하여 논해 보고자 한다.

### 澱粉의 構造와 消化

곡류중의 澱粉은 알곡 중에 들어 있는데 부위는 옥수수의 경우 外皮 아래는 20%의 단백질과 섞여 있고 內胚乳(horny endosperm) 층에는 전분이 주성분이고 단백질이 약간 들어있고 粉末狀 內胚乳(starchy endosperm)에는 모두 전분으로 되어 있어 옥수수와 수수에는 71% 정도, 보리와 밀에는 64% 정도, 연맥에는 45% 정도 함유되어 있다.

전분은 amylose와 포도당이  $\alpha$ -1, 6 결합과  $\alpha$ -1, 4 결합으로된 amylopectin으로 구성되어 있는데 amylose는 포도당이  $\alpha$ -1, 4 결합만 되어 있다. amylose는 포도당 直鎖는 300~400이며 분자량은 약 60,000 정도이고 amylopectin은 분자량이 200,000 정도이다. 전분입자는 amylose와 amylopectin이 micell로 형성되고 있고 이 micell은 일정한 방향으로 배열하여  $\beta$ 澱粉상태이나 이것을 물과 같이 가열

<sup>†</sup> Corresponding author

하면 amylose와 amylopectin의 분자가 풀려 micell의 배열이 그물모양으로 된  $\alpha$ -澱粉이 되어 소화하기 쉽게 된다. 전분의 가수분해 효소로는  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase, amyloglucosidase가 있다<sup>3)</sup>.

곡류종의 전분은 단백질에 둘러싸여 있거나 결합되어 있어 소화효소의 침투가 어려울 때가 있는데 열처리 등을 함으로서 이러한 결합을 파괴하여 소화를 쉽게 하게 된다.

보리, 밀 연맥 등의 澱粉은 소화율이 거의 100%이나 우리나라에서는 가장 많이 사용되는 옥수수와 수수의 이용율은 86~98%인데 이들 内胚乳 중에는 prolamins 함량이 높은 것도 낮은 이용율의 한 원인이 된다.

여러가지 곡류의 amylose 함량은 옥수수의 경우 29%, 수수의 경우에는 25%가 amylose이며 곡류중 전분의 糊化에 필요한 온도는 옥수수의 경우 62~72°C 수수의 경우 67~77°C로 비슷한 편이며 보리는 59~64°C로 약간 낮다.

Armstrong<sup>4)</sup>이 발표한 증기박편처리시 전분의 糊化되는 비율을 옥수수의 경우 증기 처리만 할 경우 糊化되는 비율은 16%이나 증기박편처리를 하면 48%가 糊化되며 수수의 경우에는 증가처리시는 16%, 증기박편처리시에는 40%가 糊化되며 수수의 경우에는 증기처리시는 16%, 증기박편처리시에는 40%가 糊化됨으로서 증기에 의한 열처리와 박편처리를 동시에 하여야 糊化되는 비율이 높게 된다.

#### 반추위내 소화

Owens 등<sup>5)</sup>은 사료 가공방법의 차이에 따라 전분이 59~86%가 반추위내에서 소화되었다는데 일반적으로 가공을 많이 할수록 소화율이 높다. 전분이 반추위내에서 소화되자면 미생물이 전분입자에 붙게 되고 미생물이 전분을 포도당으로 분해되고 다시 휘발성 지방산(VFA)으로 분해하며 이 VFA는 반추위벽을 통하여 흡수된다.

곡류는 外皮表面이 wax cuticle로 구성되어 있기 때문에 반추위 미생물이 곡류내부의 영양소를 이용하는데 이러한 외부구조적 특징이 커다란 장애가 된다<sup>5, 6)</sup>. 일반적으로 곡류내부의 胚芽에는 곡류의 종류에 따라 양적으로 차이가 있으나 대부분 많은 양의 전분을 함유하고 있다. 이러한 곡류 배아 세포내에 존재하는 전분은 대부분 단백질로 둘러싸여 있는데, 특히 hard wheat의 경우 단백질이 완전하게 둘러싸고 있는 반면 soft wheat의 경우에는 그 정도가 다소 약하다. 따라서 곡류 전분에 대한 미생물의 침투 용이성은

곡류를 둘러싸고 있는 세포벽의 두께와 화학적 조성 및 미생 침투를 용이하게 할 수 있는 단백질의 표면 폐쇄 정도에 따라서 많은 차이가 있다.

전분은 amylose 소화 미생물에 의하여 주로 프로피온산과 초산이 생성되며 일부 전분은 미생물에 저장되어 미생물과 같이 소장으로 내려가 분해 이용되기도 한다. 반추위내에서 발효되는 전분중 탄소의 20~25%가 미생물 유기물로 합성되어 소장내에서 소화 흡수된다.

반추위내의 소화율은 발효속도와 발효기간에 의해 좌우된다. 곡류를 분쇄하게 되면 입자가 작게 되어 반추위내의 분해율이 증가하게 되는데 반추위내 소화율은 입자의 표면적이 넓을수록 증가된다<sup>7)</sup>. 분쇄한 옥수수는 반추위내에서 8시간 발효시키면 전분이 18% 정도 소화되었으나 증기박편 처리한 옥수수는 8시간 발효하면 47% 정도 분해되어 소화속도가 3배이상 빨랐다고 하였다<sup>8)</sup>.

고수분상태로 저장된 곡류는 같은 입자도 일지라도 단순히 분쇄한 곡류에 비해 소화율이 훨씬 높는데 이는 저장중 곡류가 발효되어 입자의 경직도가 약해지기 때문이며<sup>9)</sup> 옥수수중에 들어 있는 단백질의 50%가 염류용액에 비용해성인 단백질에서 용해성 단백질로 변화되어 전분의 이용성을 증가시킨다.

건조된 수수에 수분을 가하여 저장하게 되면 비용해성 단백질을 용해되고 탄닌성분도 일부 파괴되어 이용성을 높게 되므로 수수의 경우 reconstitution할 때 분쇄되지 않은 알곡수수를 사용하는 것이 효과적이며 옥수수의 경우에는 분쇄하거나 알곡 그대로 reconstitution하더라도 효과에 차이가 없는데 이는 옥수수 단백질의 용해도의 증가는 발아효율보다는 발효중 생성된 산에 의하여 많이 영향을 받기 때문이다.

반추위내 전분의 소화율은 곡류의 가공정도가 높을수록 높아지는데 특히 증기박편 처리나 밀의 배합율이 높은 사료에서는 acidosis가 사용중의 큰 문제로 대두하게 된다.<sup>10, 11, 12, 13)</sup>

Acidosis는 전분 소화로부터 생긴 glucose의 생성량이 glucose가 VFA로 발효하는 속도보다 빨리 생성될 때 glucose가 반추위내에 축적되어 반추위내에 streptococcus bovis가 증식하게 되어 유산의 생성량이 많아져서 pH가 저하되면 반추위내 미생물이 줄어들게 되고 축적된 유산이 혈액내로 흡수되면 혈액의 pH가 떨어져 가축이 acidosis로

폐사하게 된다<sup>14)</sup>.

Owens와 Kim<sup>9)</sup>이 발표한 자료에 의하면 사료입자의 통과속도는 옥수수와 조사료의 가공방법에 따라 달라지는데 예를 들면 조사료로서 분쇄한 건초와 분쇄한 옥수수를 급여할 때는 반추위내 통과속도가 시간당 2.9%로서 알곡이 분쇄한 옥수수보다 반추위내 머무는 시간이 길게 된다.

알곡은 비중이 높아 반추위 밑바닥에 가라앉게 되며 이것이 다시 반추작용으로 되씹기까지 그곳에 머무르게 된다. 혹 알곡이 제4위까지 내려가게 되면 소장과 대장을 그대로 통과하게 되어 분중에 배설되게 된다.

제4위에서 입자는 2,000~4,000 $\mu$ m의 옥수수 중에 들어 있는 전분은 소장을 그대로 통과하여 똥중에 배설되게 되는데 즉 이는 입자를 가진 알곡중에 들어 있는 전분은 소화가 잘되지 않는 것을 의미한다<sup>7)</sup>. 조사료의 분쇄정도도 옥수수의 반추위내 통과속도에 영향을 미치는데 급여하는 건초가 길수록 옥수수의 입자의 반추위 통과속도를 빠르게 하며 또한 사료의 섭취량이 많을수록 반추위 통과속도를 증가시킨다.

일반적으로 곡류사료에 미생물이 부착될 경우에는 우선 손상된 外皮部分에 먼저 이루어지게 되며 그후 전분을 둘러싸고 있는 蛋白質에 대하여 공격하게 된다. 따라서 전분에 대한 필수적인 방어구조는 점차 미생물이 생산하는 酸素에 의하여 제거되고 전분질이 용 미생물이 전분을 쉽게 공격하게 됨으로써 많은 양의 영양소가 유출되게 된다. 그러나 胚芽에는 bacteria 群落在이 반약하게 형성되며 이러한 일련의 소화과정중 가장 늦게 이루어진다. 특히 다른 곡류와 비교했을 때 옥수수와 수수의 느린 소화작용은 이러한 전분질을 둘러싸고 있는 단백질이 미생물의 군락형성을 지연시키기 때문이다<sup>15)</sup>.

반추위내 protozoa는 반추위내의 전분소화를 감소하는 소장내의 전분소화가 증진되므로 전분의 에너지 이용효율 측면에서는 장점이 된다고 하였으나<sup>1)</sup> 한편 Czerkawski<sup>16)</sup>는 protozoa를 제거한 동물에서는 농후사료가 반추위내에서 대조구의 78%에 비해 83%로 훨씬 효율적인 발효가 일어나므로 protozoa를 제거한 동물에서 소장내 소화가 감소되는 것을 충분히 보상할 수 있다고 하였다.

Protozoa가 많은 소에서는 반추위내에 methane의 생성량이 많고 프로피온산과 낙산의 비율은 낮아지나 고곡사료에서 protozoa의 존재가 에너지 이용효율에 이익이 되느냐

하는 점은 전분 소화가 일어나는 부위와 크기에 따라 다르며 또한 동물의 소화 최종 산물을 이용하는 능력에 좌우된다고 본다.

### 소장내 소화 및 흡수

반추가축에서 소장내 전분 소화율은 총전분 섭취량의 5~17%이며 소장에 공급되는 전분량의 38~88%가 소화된다. 작은 입자의 전분과 가용성 전분은 반추위내 미생물에 의하여 쉽게 발효되기 때문에 소장내로 내려오는 전분은 용해와 소화가 잘되지 않는 굵은 입자와 전분이 대부분이다. Kim과 Owens<sup>7)</sup>는 입자도가 500mm 이하의 입자는 소장내에 아주 적다고 하였다. 고로 소장내의 전분 소화율이 옥수수를 증기박편 처리했을 때는 88%로 높지만 파쇄, 압편, 분쇄했을 때는 소화율이 각각 47%, 54%, 56%로 저조했으며 수수를 압편했을 때는 소화율이 38%로 더욱 낮았는데 이와같이 소장내의 전분 소화율이 낮은 원인에 대하여 Owens와 Kim은 소장내 소화율은 전분입자의 크기에 많은 영향을 받는다고 하였다<sup>9)</sup>.

한편 소장내 낮은 전분 소화율에 대한 타연구자들의 견해를 살펴보면 1 소장내 amylase의 분비 부족<sup>17)</sup> 2 amylase 활성에 부적당한 소장내의 낮은 pH<sup>18)</sup> 3 maltase의 부족<sup>10)</sup> 4 소장내에 생성된 포도당의 불완전한 흡수<sup>19)</sup> 5 소장내 전분이 함유된 입자의 크기<sup>7)</sup> 6 소장내 전분이 소장내 미생물에 의해 VFA로 생성하기 때문<sup>20)</sup>이라는 의견이 있다.

소장내의 amylase는 췌장이나 소장 점막에서 분비된 것으로 전분내부의  $\alpha$ -1, 4 glucose 결합을 가수분해하여 maltose나 trisaccharide를 생성하며  $\alpha$ -1, 4 glucose 결합과  $\alpha$ -1, 6결합이 들어 있는 과당류인 dextrin도 생성하게 된다. 췌장 amylase에 대한 연구는 많이 되어 있으나 소장 점막의 amylase에 대하여는 별 연구가 없는 실정이며 췌장 amylase는 췌장에서 합성되어 zymogen 형태로 췌장 세포에 저장되어 있다가 필요한 때 췌장관을 통하여 소장으로 분비된다. 췌장 amylase의 분비량은 동물의 연령과 사료성분에 영향을 받는데 Clary 등<sup>21)</sup>은 비육우의 경우 방목하는 소보다 전량 농후사료를 급여한 소에서 췌장 조직내의 amylase의 활성이 140%로 높았으며 사료중 전분함량이 높을수록 amylase 활성이 직선적으로 증가한다고 했다.

Russel 등<sup>17)</sup>도 옥수수의 급여량을 높일수록 amylase의 활성이 높았다고 하였는데 유지 수준에서는 amylase 활성

하면 amylose와 amylopectin의 분자가 풀러 micell의 배열이 그물모양으로 된  $\alpha$ -澱粉이 되어 소화하기 쉽게 된다. 전분의 가수분해 효소로는  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase, amyloglucosidase가 있다<sup>3)</sup>.

곡류종의 전분은 단백질에 둘러싸여 있거나 결합되어 있어 소화효소의 침투가 어려울 때가 있는데 열처리 등을 함으로서 이러한 결합을 파괴하여 소화를 쉽게 하게 된다.

보리, 밀 연맥 종의 澱粉은 소화율이 거의 100%이나 우리나라에서는 가장 많이 사용되는 옥수수와 수수의 이용율은 86~98%인데 이들 内胚乳 중에는 prolamin 함량이 높은 것도 낮은 이용율의 한 원인이 된다.

여러가지 곡류의 amylose 함량은 옥수수의 경우 29%, 수수의 경우에는 25%가 amylose이며 곡류중 전분의 糊化에 필요한 온도는 옥수수의 경우 62~72°C 수수의 경우 67~77°C로 비슷한 편이며 보리는 59~64°C로 약간 낮다.

Armstrong<sup>4)</sup>이 발표한 증기박편처리시 전분의 糊化되는 비율을 옥수수의 경우 증기 처리만 할 경우 糊化되는 비율은 16%이나 증기박편처리를 하면 48%가 糊化되며 수수의 경우에는 증가처리시는 16%, 증기박편처리시에는 40%가 糊化되며 수수의 경우에는 증기처리시는 16%, 증기박편처리시에는 40%가 糊化됨으로서 증기에 의한 열처리와 박편처리를 동시에 하여야 糊化되는 비율이 높게 된다.

#### 반추위내 소화

Owens 등<sup>5)</sup>은 사료 가공방법의 차이에 따라 전분이 59~86%가 반추위내에서 소화되었다는데 일반적으로 가공을 많이 할수록 소화율이 높다. 전분이 반추위내에서 소화되자면 미생물이 전분입자에 붙게 되고 미생물이 전분을 포도당으로 분해되고 다시 휘발성 지방산(VFA)으로 분해하며 이 VFA는 반추위벽을 통하여 흡수된다.

곡류는 外皮表面이 wax cuticle로 구성되어 있기 때문에 반추위 미생물이 곡류내부의 영양소를 이용하는데 이러한 외부구조적 특징이 커다란 장애가 된다<sup>5, 6)</sup>. 일반적으로 곡류내부의 胚芽에는 곡류의 종류에 따라 양적으로 차이가 있으나 대부분 많은 양의 전분을 함유하고 있다. 이러한 곡류 배야 세포내에 존재하는 전분은 대부분 단백질로 둘러싸여 있는데, 특히 hard wheat의 경우 단백질이 완전하게 둘러싸고 있는 반면 soft wheat의 경우에는 그 정도가 다소 약하다. 따라서 곡류 전분에 대한 미생물의 침투 용이성은

곡류를 둘러싸고 있는 세포벽의 두께와 화학적 조성 및 미생 침투를 용이하게 할 수 있는 단백질의 표면 폐쇄 정도에 따라서 많은 차이가 있다.

전분은 amylose 소화 미생물에 의하여 주로 프로피온산과 초산이 생성되며 일부 전분은 미생물에 저장되어 미생물과 같이 소장으로 내려가 분해 이용되기도 한다. 반추위내에서 발효되는 전분중 탄소의 20~25%가 미생물 유기물로 합성되어 소장내에서 소화 흡수된다.

반추위내의 소화율은 발효속도와 발효기간에 의해 좌우된다. 곡류를 분쇄하게 되면 입자가 작게 되어 반추위내의 분해율이 증가하게 되는데 반추위내 소화율은 입자의 표면적이 넓을수록 증가된다<sup>7)</sup>. 분쇄한 옥수수는 반추위내에서 8시간 발효시키면 전분이 18% 정도 소화되었으나 증기박편 처리한 옥수수는 8시간 발효하면 47% 정도 분해되어 소화속도가 3배이상 빨랐다고 하였다<sup>8)</sup>.

고수분상태로 저장된 곡류는 같은 입자도 일지라도 단순히 분쇄한 곡류에 비해 소화율이 훨씬 높는데 이는 저장중 곡류가 발효되어 입자의 경직도가 약해지기 때문이며<sup>9)</sup> 옥수수중에 들어 있는 단백질의 50%가 염류용액에 비용해성인 단백질에서 용해성 단백질로 변화되어 전분의 이용성을 증가시킨다.

건조된 수수에 수분을 가하여 저장하게 되면 비용해성 단백질을 용해되고 탄닌성분도 일부 파괴되어 이용성을 높게 되므로 수수의 경우 reconstitution할 때 분쇄되지 않은 알곡수수를 사용하는 것이 효과적이며 옥수수의 경우에는 분쇄하거나 알곡 그대로 reconstitution하더라도 효과에 차이가 없는데 이는 옥수수 단백질의 용해도의 증가는 발아효율보다는 발효중 생성된 산에 의하여 많이 영향을 받기 때문이다.

반추위내 전분의 소화율은 곡류의 가공정도가 높을수록 높아지는데 특히 증기박편 처리나 밀의 배합율이 높은 사료에서는 acidosis가 사용중의 큰 문제로 대두하게 된다.<sup>10, 11, 12, 13)</sup>

Acidosis는 전분 소화로부터 생긴 glucose의 생성량이 glucose가 VFA로 발효하는 속도보다 빨리 생성될 때 glucose가 반추위내에 축적되어 반추위내에 streptococcus bovis가 증식하게 되어 유산의 생성량이 많아져서 pH가 저하되면 반추위내 미생물이 줄어들게 되고 축적된 유산이 혈액내로 흡수되면 혈액의 pH가 떨어져 가축이 acidosis로

폐사하게 된다<sup>4)</sup>.

Owens와 Kim<sup>9)</sup>이 발표한 자료에 의하면 사료입자의 통과속도는 옥수수과 조사료의 가공방법에 따라 달라지는데 예를 들면 조사료로서 분쇄한 건초와 분쇄한 옥수수를 급여할 때는 반추위내 통과속도가 시간당 2.9%로서 알곡이 분쇄한 옥수수보다 반추위내 머무는 시간이 길게 된다.

알곡은 비중이 높아 반추위 밑바닥에 가라앉게 되며 이것이 다시 반추작용으로 되씹기하기까지 그곳에 머무르게 된다. 혹 알곡이 제4위까지 내려가게 되면 소장과 대장을 그대로 통과하게 되어 분중에 배설되게 된다.

제4위에서 입자는 2,000~4,000 $\mu$ m의 옥수수 중에 들어 있는 전분은 소장을 그대로 통과하여 똥중에 배설되게 되는데 즉 이는 입자를 가진 알곡중에 들어 있는 전분은 소화가 잘되지 않는 것을 의미한다<sup>7)</sup>. 조사료의 분쇄정도도 옥수수의 반추위내 통과속도에 영향을 미치는데 급여하는 건초가 길수록 옥수수의 입자의 반추위 통과속도를 빠르게 하며 또한 사료의 섭취량이 많을수록 반추위 통과속도를 증가시킨다.

일반적으로 곡류사료에 미생물이 부착될 경우에는 우선 손상된 外皮部分에 먼저 이루어지게 되며 그후 전분을 둘러싸고 있는 蛋白質에 대하여 공격하게 된다. 따라서 전분에 대한 필수적인 방어구조는 점차 미생물이 생산하는 酵素에 의하여 제거되고 전분질이용 미생물이 전분을 쉽게 공격하게 됨으로써 많은 양의 영양소가 유출되게 된다. 그러나 胚芽에는 bacteria 群落在이 반약하게 형성되며 이러한 일련의 소화과정중 가장 늦게 이루어진다. 특히 다른 곡류와 비교했을 때 옥수수와 수수의 느린 소화작용은 이러한 전분질을 둘러싸고 있는 단백질이 미생물의 균락형성을 지연시키기 때문이다<sup>5)</sup>.

반추위내 protozoa는 반추위내의 전분소화를 감소하는 소장내의 전분소화가 증진되므로 전분의 에너지 이용효율 측면에서는 장점이 된다고 하였으나<sup>1)</sup> 한편 Czerkawski<sup>16)</sup>는 protozoa를 제거한 동물에서는 농후사료가 반추위내에서 대조구의 78%에 비해 83%로 훨씬 효율적인 발효가 일어나므로 protozoa를 제거한 동물에서 소장내 소화가 감소되는 것을 충분히 보상할 수 있다고 하였다.

Protozoa가 많은 소에서는 반추위내에 methane의 생성량이 많고 프로피온산과 낙산의 비율은 낮아지나 고곡사료에서 protozoa의 존재가 에너지 이용효율에 이익이 되느냐

하는 점은 전분 소화가 일어나는 부위와 크기에 따라 다르며 또한 동물의 소화 최종 산물을 이용하는 능력에 좌우된다고 본다.

### 소장내 소화 및 흡수

반추가축에서 소장내 전분 소화율은 총전분 섭취량의 5~17%이며 소장에 공급되는 전분량의 38~88%가 소화된다. 작은 입자의 전분과 가용성 전분은 반추위내 미생물에 의하여 쉽게 발효되기 때문에 소장으로 내려오는 전분은 용해와 소화가 잘되지 않는 굵은 입자와 전분이 대부분이다. Kim과 Owens<sup>7)</sup>는 입자도가 500mm 이하의 입자는 소장내에 아주 적다고 하였다. 고로 소장내의 전분 소화율이 옥수수를 증기박편 처리했을 때는 88%로 높지만 파쇄, 압편, 분쇄했을 때는 소화율이 각각 47%, 54%, 56%로 저조했으며 수수를 압편했을 때는 소화율이 38%로 더욱 낮았는데 이와같이 소장내의 전분 소화율이 낮은 원인에 대하여 Owens와 Kim은 소장내 소화율은 전분입자의 크기에 많은 영향을 받는다고 하였다<sup>9)</sup>.

한편 소장내 낮은 전분 소화율에 대한 타연구자들의 견해를 살펴보면 1 소장내 amylase의 분비 부족<sup>17)</sup> 2 amylase 활성에 부적당한 소장내의 낮은 pH<sup>18)</sup> 3 maltase의 부족<sup>10)</sup> 4 소장내에 생성된 포도당의 불완전한 흡수<sup>19)</sup> 5 소장내 전분이 함유된 입자의 크기<sup>7)</sup> 6 소장내 전분이 소장내 미생물에 의해 VFA로 생성하기 때문<sup>20)</sup>이라는 의견이 있다.

소장내의 amylase는 췌장이나 소장 점막에서 분비된 것으로 전분내부의  $\alpha$ -1, 4 glucose 결합을 가수분해하여 maltose나 trimaltose를 생성하며  $\alpha$ -1, 4 glucose 결합과  $\alpha$ -1, 6결합이 들어 있는 과당류인 dextrin도 생성하게 된다. 췌장 amylase에 대한 연구는 많이 되어 있으나 소장 점막의 amylase에 대하여는 별 연구가 없는 실정이며 췌장 amylase는 췌장에서 합성되어 zymogen 형태로 췌장 세포에 저장되어 있다가 필요한 때 췌장관을 통하여 소장으로 분비된다. 췌장 amylase의 분비량은 동물의 연령과 사료성분에 영향을 받는데 Clary 등<sup>21)</sup>은 비육우의 경우 방목하는 소보다 전량 농후사료를 급여한 소에서 췌장 조직내의 amylase의 활성이 140%로 높았으며 사료중 전분함량이 높을수록 amylase 활성이 직선적으로 증가한다고 했다.

Russel 등<sup>17)</sup>도 옥수수의 급여량을 높일수록 amylase의 활성이 높았다고 하였는데 유지 수준에서는 amylase 활성

도가 776 unit에서 2배 수준일 때는 1,439 unit로 2배나 증가했다고 하였다.

비반추 가축인 쥐의 경우에는 단백질을 적정수준으로 급여할 때 체장 amylase 분비량이 많았다고 한다<sup>22)</sup>.

Owens 등<sup>1)</sup>은 maltose와 isomaltose가 소장 내용물에 거의 없는 것으로 보아 maltase나 isomaltase가 부족하여 소화율이 낮은 것 같지도 않다고 하였다.

Sanford<sup>23)</sup>도 정상 상태에서 maltase가 소장내 전분 소화율을 저하시키는 원인이 아니라고 하였으며 Russel 등<sup>17)</sup>은 전분의 공급량을 증가시켜도 소장내 maltase의 활성은 변화하지 않았으며 비육우의 분종의 당분의 99.7%가 전분이며 maltase는 농후사료의 공급량에 따라 거의 증가하지 않으므로 maltase는 농후사료의 공급량에 따라 거의 증가하지 않으므로 maltase의 부족은 이유가 되지 않는다고 하였다.

Kreikemeier 등<sup>20)</sup>은 전분을 제4위에 시간당 20~60g을 주입하였을 때 회장에서 포도당의 농도는 2.5~5.7mM이었으며 60g 주입했을 때 회장의 포도당이 주입한 전분의 5.8%였다고 하였으며 소장에서의 포도당의 흡수속도보다 훨씬 빠른 속도로 가수분해 되었다고 하였다. 소장내 포도당이 최대로 흡수되자면 소장내 유입되는 전분이 시간당 20g 미만이라고 추정하였다.

제4위에 전분을 시간당 60g을 주입했을 때 주입한 전분량의 55%가 소장에서 소화 흡수되었다고 하였으며 포도당을 60g 주입했을 때는 주입된 포도당의 71%가 소장에서 흡수되는 것과 비교할 때 전분입자의 구조상 특성으로 소화가 저해되기 때문이라고 하였다. 거세우의 소장에서 사라지는 생전분의 약 35%가 혈관내 포도당으로 흡수된다고 하였다.

소장에서 사라진 전분이 경정맥혈관에 포도당으로 나타나지 않는 이유는 다음과 같은 요인에 기인된다고 추정하였다. 전분이 소장내 미생물에 의하여 발효되면 전분의 분해 최종산 물이 포도당이 아니다. 소장내에도 내산성 박테리아가 소화내용을 1g 당 10<sup>6</sup> 마리가 있기 때문이다<sup>24)</sup>. 또는 제4위에 주입한 고수준의 전분에 의해 회장내 pH가 떨어지고 회장내 VFA의 농도가 증가하기 때문이다. 또 다른 요인은 소장에서 전분이 포도당으로 가수분해된 후 혈류를 타고 이동되지 않고 소장 점막 세포에서 대사되어 버릴 수도 있다고 하였다<sup>25, 26)</sup>.

소장 내용물은 소장의 율동적, 분절운동(rhythmic segmentation)과 유동운동(peristalsis)에 의하여 내용물이 하부로 내려가면 소화액과 잘 혼합되도록 포도당의 흡수를 촉진하고 장벽의 혈류를 원활하게 하는데 유동운동은 30~60분 간격으로 내용물을 소절로 나누어 통과시키므로 섭취수준에 따라 소장 통과시간에 큰 차이는 없다고 하나 비육우의 경우 소장 내용물의 통과시간은 180~240분이므로 반추위내 정체시간인 12~36시간이나 대장내 정체시간인 8~16시간보다 훨씬 짧으므로 소장내의 소화시간이 이보다 훨씬 길어지면 소장내 전분소화율이 증진될 수도 있다<sup>9)</sup>.

사료를 비육우 체중의 1.0%와 2.2% 급여했을 때 소장내 정체시간이 전자에서는 249.5분이고 후자에서는 230분으로 사료섭취량이 많을수록 장내 머무는 시간이 짧았다고 한다.

소장 내용물의 농도도 사료의 영향을 받는데 Kim과 Owens<sup>7)</sup>는 비육우에서 농후사료 78%, 면실 각 22%를 급여했을 때 십이지장 내용물의 고형물 함량은 5~7%였고 회장의 고형물 함량은 10~14%였다고 했다.

Owens와 Kim<sup>9)</sup>은 조사료로서 alfalfa를 급여할 때 소장 내용물은 묽은 편이고 면실각을 급여할 때는 소장 내용물이 굵고 점도가 높았으며 alfalfa 급여시 내용물의 소장내 머무는 시간은 면실각도보다 짧았다.

점도가 높으면 소장점막에 접촉하는 내용물 입자의 노출 표면적이 작아지며 이것도 전분 소화율이 낮아지는 원인이 된다.

## 곡류가공과 소화율

곡류의 가공 방법별 소화율은 소에 있어서 반추위 및 전체 소화관내 소화율에 대한 자료는 다음 (표 1)과 같다.

옥수수나 수수를 가공할 경우 소장내 소화율을 높여준다. 반추가축에서 전분의 소장내 소화율은 기 발효된 여러가지 요인으로 낮으므로 곡류를 가공하면 소장내 공급되는 전분함량을 많게 함으로서 전체 전분 소화율을 높여준다<sup>10)</sup>.

Streeter 등<sup>27, 28)</sup>은 옥수수와 수수의 고형물 소화율과 전분소화율을 비교하였는데 옥수수의 소화율이 수수보다 유의적으로 높았으며수수 품종간에는 다른 3개 품종간에 유의적인 차이는 없었다고 하였다.

Table 1. Digestibility among feed grains (%)

Item	Sorghum grain	Corn	Barley
<b>Protein</b>			
Total tract digestion	55	68	72
<b>Starch</b>			
Total tract digestion	92	96	99
Ruminal digestion	66	73	93
Ruminal escape	34	27	7
Intestinal digestion	79	82	78
<b>Protein</b>			
Total tract digestion	61	66	68
<b>Starch</b>			
Total tract digestion	97	99	99
Ruminal digestion	75	84	88
Ruminal escape	25	16	12
Intestinal digestion	87	94	93

Theurer(1986)

면양과 돼지는 소에 비해 잘 씹기 때문에 곡류의 전분 소화율이 99% 이상으로 소보다 높으며 소는 젊은 소가 늙은 소에 비해 통옥수수 알곡의 이용효율이 훨씬 높다.

고능력우는 사료섭취량이 체중의 4%를 초과하는데 이 경우 통옥수수의 알곡을 많이 급여하면 사료효율이 떨어지는데 이는 섭취량이 많고, 저작과 반추시간이 짧아 전분이 잘 소화되지 않고 소화관을 통과하게 되므로 고능력우는 곡류를 가공하여 급여하여야 전분 소화율을 높일 수 있다.

Zinn<sup>29)</sup>은 옥수수를 증기박편 처리시 박편의 밀도가 낮을수록 즉 박편두께가 얇을수록 in vitro 소화율은 유의적으로 ( $P < 0.01$ )으로 증가하였고 비육우에 있어서 반추위내 및 전소화관내 소화율이 증가하였다고 하였으나(표 2) 반추위액 성상에 있어서 반추위내 pH가 박편이 얇을수록 유의적으로 낮아져( $P < 0.01$ ) 사료효율이나 증체량은 오히려 박편 밀도가 0.30으로 낮을 때가 떨어졌다고 하였는데 이는 반추위내 pH가 떨어져 비효율이 저하된 것 같다고 하였다.

옥수수를 증기박편 처리할 때 증기처리 시간이 소화율이나 비육우의 증체나 사료효율에 미치는 영향을 Zinn이 연구한 바에 의하면<sup>30)</sup> 증기처리 시간이 34분에서 67분으로 길어질수록 in vitro 소화율은 증가하였으나 비육우 시험에서는 전분의 반추위, 소장, 전체 소화 관내의 소화율이 99.4~99.7%로서 차이가 없어 처리시간을 34분 이상에서

47분, 67분으로 증가시켜도 증기박편 옥수수의 영양가를 증가시키지는 못하였다고 하였다.

Owens와 Kim(1985)은(표 3)에서 보는 바와 같이 옥수수 전분의 전 소화관내 소화율을 보면 알곡 급여시와 파쇄한 옥수수의 경우 각각 91.7%와 87.6%로서 가장 낮았으며 압편한 것이나 분쇄했을 때와 고수분사이레지가 각각 93.2~94.6%로 중간정도이며 박편처리시가 97.8%로 가장 높았다.<sup>9)</sup>

반추위내 전분 소화율은 알곡일 경우 58.9%로 가장 낮고 파쇄 압편한 경우가 각각 68.9%, 71.9%로 중간 정도이며 곱게 분쇄할 경우가 77.7%, 증기박편 처리시가 82.8%로 높았으며 싸이레지 제조시가 86%로 가장 높았다.

Table 2. Influence of density of steam flaked corn on feedlot performance and estimated net energy value of diets fed to steers

Item	Flake density, kg/liter		
	42	36	30
<b>Live wt. kg</b>			
Initial	308	310	315
Final	465	470	462
Live wt gain, kg/d	1.40	1.39	1.32
DM intake, kg/d	7.49	7.31	7.16
DM conversion	5.37	5.24	5.48
<b>Diet net energy, Mcal/kg</b>			
Maintenance	2.25	2.31	2.27
<b>Gain</b>			
Observed/expected diet net energy			
Maintenance	99	1.02	1.00
Gain	98	1.02	0.99

Zinn (1990)

수수 전분의 경우 압편시 전 소화기관의 소화율이 86.4%, 싸이레지 경우 93.6%였으며 반추위내 소화율은 압편시 67.8%, 고수사이레지 경우 86.2%로 높았다.

Zinn은 분쇄한 보리와 증기박편 처리한 보리를 거세우 비육사료에 74% 수준을 사용하였을 때 반추위내 유기물 소화율이 분쇄한 구와 증기박편한 구가 각각 56.7%대 65.6%, 전분 소화율은 75.8% 대 88.2%로 유의적( $P < 0.01$ )으로 증가하였으며 전소화관내 소화율은 95.0% 대 97.9

Table 3. Site and extent of starch digestion with corn and sorghum processed by various methods.

Grain Processing method	Starch digestibility						Post ruminal	Grain/gain
	Rumen	Intestines		Total tract	Intestines			
		Small	Large		Small	Large		
	- % of starch in diet -				- % of starch input -			
Corn	58.9	17.0	2.8	91.7	66.9	33.3	75.4	6.85
Whole	58.9	17.0	2.8	91.7	66.9	33.3	75.4	6.85
Cracked	68.9	12.9	8.2	87.6	46.7	55.5	69.9	
Rolled	71.8	16.1	4.9	93.2	53.7	37.2	73.1	6.90
Ground	77.7	13.7	4.3	93.5	56.3	37.0	66.8	
Ensiled	86.0	5.5	1.0	94.6	76.4	55.0	89.8	6.45
Steam flaked	82.8	15.6	1.3	97.8	88.1	61.9	87.9	6.33
Sorghum								
Rolled	67.8	13.4	5.9	86.4	37.8	33.3	54.8	7.30
Ensiled	86.2	9.6	1.1	69.2	29.5	78.1	6.29	

Owens와 Kim (1986)

로 3% 정도 증가하였다. 고로 증기박편 처리한 보리는 전소화관내 소화율이 옥수수의 98.3%와 유사하였으므로 보리의 가치도 증기박편 처리하면 NEm치가 7.0%까지 증가한다고 하였다<sup>31)</sup>.

수수 전분의 경우 압편시 전 소화기관의 소화율이 86.4%, 싸이레지 경우 93.6%였으며 반추위내 소화율은 압편시 67.8%, 고수사이레지 경우 86.2%로 높았다.

Zinn은 분쇄한 보리와 증기박편 처리한 보리를 거세우 비육사료에 74% 수분을 사용하였을 때 반추위내 유기물 소화율이 분쇄한 구와 증기박편한 구가 각각 56.7%대 65.6%, 전분 소화율은 75.8% 대 88.2%로 유의적(P < 0.01)으로 증가하였으며 전소화관내 소화율은 95.0% 대 97.9%로 3% 정도 증가하였다. 고로 증기박편 처리한 보리는 전소화관내 소화율이 옥수수의 98.3%와 유사하였으므로 보리의 가치도 증기박편 처리하면 NEm치가 7.0%까지 증가한다고 하였다<sup>31)</sup>.

Engstrom 등은 보리를 건조분쇄한 것과 증기분쇄 한 것을 육성 비육우에 급여하였을 때 in vitro에서 amyloglucosidase에 의한 분해속도는 증기분쇄한 것이 건조분쇄한 것에 비해 빨랐으나 비육우의 증체효과와 사료효율은 증기분쇄한 것과 건조분쇄한 구간에 차이가 없이 증기분쇄 효과가 나타나지 않았다<sup>32)</sup>. 이는 Grimson 등<sup>33)</sup>, Mathison 등<sup>34)</sup>도 같은 결과를 발표하였는데 보리는 반추위내의 소화율이 너무 높아 옥수수나 수수와는 달리 gelatinization시켜도 동물

의 증체나 사료효율 개선에 효과가 없었다. 또 보리에 과도한 열이나 압력을 가하면 dextran이 형성되어 전분의 소화율을 감소시킬 수도 있다고 하였다<sup>5)</sup>.

Focant 등<sup>35)</sup>은 밀을 분쇄한 것과 증기박편 처리한 것을 Holstein 미경산우에 급여했을 때 in vitro 소화시험에서 pancreatin으로 30분 처리했을 때 전분소화율은 증기박편 처리구가 분쇄구에 비하여 10배 정도 높았으나 in vitro에서의 6시간만의 N분해율은 분쇄구가 61.9%인데 비해 증기박편구는 8.8%로서 N분해율이 크게 낮았다고 하였다. in vivo 시험에서 증기박편구에서 십이지장으로 유입되는 Non-ammonia N의 양이 대주구에 비해 10% 정도가 높아졌는데(P < 0.05) 즉 곡류를 증기박편 처리하면 전분을 소화시킬 뿐만 아니라 N 분해율을 낮추어 소장내에 공급되는 아미노산의 양을 증가시키는 것도 큰 효과라고 하였다.

보리와 밀을 반추위내에서의 소화속도가 빠르기 때문에 분쇄, 건식, 압착 등이 일반적이나 최근 Zinn등의 연구로<sup>31)</sup> 증기박편 처리를 함으로서 정미에너지가 2~8% 증가한다고 하였고 총 소화관내 소화율도 높아진다고 하였으나 비육우 사료로서 적절한지는 더 많은 연구가 필요하다고 본다.

### 사료섭취량과 소화율

Morrison은 소가 옥수수를 섭취했을 때 18~35%가 분 중에 배설되었다고 하였으며 Wheeler<sup>18)</sup>도 고능력우에서



비유기간중 사료섭취량이 높을 때 전분소화율이 크게 떨어졌는데(P<0.01) 즉 조사료와 농후사료 급여 비율이 60 : 40일때 유지 수준에서의 전분소화율은 96.6%로 높았으나 착유우에서는 88.1%였으며 조사료 농후사료 비율이 변경되어도 전분 소화율은 별차이가 없었다.

Table 4. Effect of steam flaking wheat on rumen OM digestibility and duodenal flow in heifers

	Diet <sup>1</sup>	
	DRW	SFW
No. of observations	6	6
OM intake (g day <sup>-1</sup> )	4,360	4,381
Rumen OM digestibility(%)	65.3	64.6
OM flow (g day <sup>-1</sup> )	2,136.0	2,207.0
Non-NH <sub>3</sub> -N flow (g day <sup>-1</sup> )	98.4	110.3
Bacterial N flow (g day <sup>-1</sup> )	62.5	65.5
Feed N flow (g day <sup>-1</sup> )	36.0	45.0
Bacterial crude protein (g per 100g OM digested)	13.7	14.5

1. DRW=dry-rolled wheat ; SFW=steam-flaked wheat. Focant (1990)

Owens<sup>36)</sup>는 소장 상단부와 하단부에 T cannula를 부착한 비육우에 농후사료 함량이 84%인 사료를 체중의 1.2%, 1.5%, 1.8%, 2.1%로 급여량을 증가시켰을 때 반추위내 전분 소화율이 각각 79.6, 80.2, 84.9, 91.0%로 증가하였는데 이는 전분의 반추위내 소화율이 반추위내 체재 시간에만 영향을 받는 것이 아니고 저작과 반추작용이 증가하고 반추위내 조건이 전분이 미생물이 많이 노출되고 소화에 적합하기 때문이라고 하였다.

Zinn 등은 건조분쇄한 옥수수수와 증기박편 처리한 옥수수의 사료섭취 수준이 반추위와 전소화관내 소화율에 미치는 영향을 관한 연구를 Holstein 거세우로 수행한 시험에 의하면 옥수수를 거세우 체중의 1.6%와 2.4% 급여했을 때 반추위내 유기물이나 전분 소화율이 2.4% 수준에서 저하하였으나 유의차는 없었으며 그러나 옥수수를 증기박편 처리했을 때가 건조 분쇄한 경우보다 전분소화율이 70.6%에서 85.4%로 크게 증가하였다<sup>2)</sup>.

Galyean 등<sup>37)</sup>은 건물섭취량이 체중의 1.8% 수준에서 1.2% 수준으로 저하할 때 건조 분쇄 옥수수가 80% 배합

된 사료에서 유기물 소화율이 증가했다고 하였으며 Zinn 등<sup>2)</sup>은 옥수수 소화율의 증가는 건물 섭취량이(체중의) 0.9~1.5% 정도의 낮은 수준에서만 나타났다고 하였다.

증기박편처리 옥수수구는 건조분쇄 옥수수구에 비하여 반추위내 pH도 유의적으로 낮고 (P<0.01), 초산과 메탄의 생성비율은 낮아지는 반면(P<0.01) 프로피온산의 생성비율은 크게 높아졌다(P<0.05).

### 곡류의 소화속도 조절

밀과 보리전분은 미생물 群落이 형성되기 쉬운 단백질로 덮혀 있어 쉽게 소화되기 때문에 가끔 소화기 障碍를 발생시킨다. 이러한 곡류의 빠른 소화는 formaldehyde처리에 의해 분해를 지연시킬 수 있는데<sup>38, 39)</sup> 이는 단백질에 대하여 미생물이 부착되는 것을 감소시킴으로서 bacteria에 의한 澱粉質 소화가 점진적으로 이루어질 수 있도록 하는 것이다. 또한 이러한 처리의 또 다른 잇점은 단백질 소화를 지연시키고 이로 인하여 반추위로 부터 단백질을 by-pass시킬 수 있다는 장점인데 이는 보리에 formaldehyde를 처리했을 때 產乳量이 증가되는 이유를 설명해 주는 것이라고 하겠다<sup>39)</sup>.

Mc Allister 등<sup>38)</sup>은 반추위내의 보리 전분의 분해도를 낮추기 위하여 보리에 0.5% formaldehyde를 처리하여 in vitro 내에서 전분 소화율을 측정해 본 결과 시험개시 4~24시간동안은 전분소화율이 무처리구에 비하여 유의적으로 감소했다고 하였는데 이는 보리의 단백질이 methylene cross-linkage를 형성하여 미생물 소화를 저해한다고 하였다.

보호단백질은 전분입자에 반추미생물의 접근을 방해하여 전분의 발효에 소요되는 시간이 길어지도록 함으로서 전분의 일시적이 급격한 분해를 억제하는 작용을 한다.

Fluharty와 Loerch<sup>40)</sup>, 김 등<sup>12)</sup>도 옥수수나 보리를 formaldehyde 처리했을 때 전분분해 속도가 발효 4시간까지는 무처리에 비해 분해가 억제되었으나 72시간 이후에는 formaldehyde 처리구가 대조구와 같았다고 하였다.

Mc Allister 등<sup>38)</sup>은 formaldehyde 처리한 곡류를 in vitro 시험관 내에서 발효시켰을 때 총휘발성 지방산 생성량이 감소하였고 따라서 pH가 무처리구에 비하여 낮았다고 하였다.

Table 5. Main effects and interactions of feed intake level and corn processing on characteristics of digestion

Item	Main effect				Treatment			
	Corn processing		Level of intake		Low intake		High intake	
	DR	SF	Low	High	DR	SF	DR	SF
Intake, g/d								
DM	4,193	4,154	3,405	4,941	3,421	3,389	4,964	4,918
OM	3,965	3,926	3,219	4,672	3,235	3,204	4,694	4,649
Starch	2,057	2,032	1,668	2,420	1,679	1,658	2,435	2,405
ADF	333	331	271	393	271	270	394	392
N	86	85	70	101	70	70	102	101
Non-urea N	71	70	58	83	58	58	84	83
GE, Mcal/d	19.3	19.2	15.7	22.8	15.8	15.6	22.9	22.7
Ruminal digestion, %								
OM	56.5	65.5	63.5	58.5	56.5	70.3	56.4	60.6
Starch	70.6	85.4	79.9	76.2	70.9	88.8	70.4	82.0
ADF	31.3	25.3	31.6	25.0	31.8	31.4	30.7	19.3
Non-urea feed N	58.6	54.7	66.9	61.6	61.3	58.3	55.8	51.0
Microbial efficiency	31.0	26.6	29.6	28.1	34.3	24.8	27.7	28.5
N efficiency	1.14	1.17	1.17	1.13	1.20	1.15	1.07	1.18
Postruminal digestion, % intake								
OM	37.3	34.8	36.2	35.9	39.6	32.7	35.0	36.8
Starch	19.2	13.6	14.8	18.0	19.5	10.1	18.8	17.2
ADF	12.5	16.1	14.3	14.4	11.7	16.9	13.3	15.4
N	85.6	93.3	93.0	86.0	92.4	93.5	78.8	93.1
Total tract digestion, %								
OM	76.6	83.0	81.4	78.2	77.2	85.6	76.0	80.5
Starch	89.8	99.1	94.7	94.2	90.4	99.0	89.3	99.1
ADF	43.8	41.5	45.9	39.4	43.5	48.3	44.1	34.7
N	68.0	72.9	71.6	69.3	68.5	74.6	67.5	71.1
DE, Mcal/kg	3.50	3.74	3.70	3.54	3.54	3.86	3.45	3.62
ME, Mcal/kg	2.81	3.09	2.93	2.98	2.78	3.07	2.85	3.11
NE, Mcal/kg								
Maintenance	1.87	2.11	1.97	2.01	1.85	2.09	1.90	2.12
Gain	1.23	1.44	1.32	1.36	1.21	1.42	1.26	1.45

Zinn 등 (1995)

Table 6. Effect of formaldehyde treated barley and oat feeding on milk composition and milk production

Item	Barley	T-Barley	Oat	T-Oat
Milk yield (kg/day)	15.9	16.9	17.1	18.2
Fat (%)	4.2	3.72	3.79	3.66
Fat yield (g/day)	660	627	649	662
Protein (%)	3.39	3.34	3.16	3.10
Protein yield (g/day)	539	560	535	561
Lactose (%)	4.88	4.9	4.94	4.91
Lactose yield (g/day)	780	831	849	893

Oke와 Loerch<sup>42)</sup> 옥수수에 formaldehyde를 0, 0.5%, 1% 첨가하여 체중 270kg 정도의 Angus 거세우로 100일 간 비육시험을 실시한 결과 전분 소화율은 98.6%, 97.1%, 97.2%로 별 차이가 없었으며 일당증체량은 1.29, 1.24, 1.25로 무처리구가 가장 좋았고 사료효율도 6.63, 7.05, 6.85로서 무처리구가 가장 좋아 옥수수에 formaldehyde를 처리하면 반추위내 발효는 저하하였으나, 사료효율이나 증체량에는 아무 영향도 미치지 않았다고 하였다.

Mc Allister 등<sup>41)</sup>은 곡류의 반추위내 미생물에 대한 소화는 곡류입자내의 단백질 기질(protein matrix)에 의하여 영향을 많이 받는다고 하였는데 즉 옥수수와 보리의 in vi-

tro 시험관내에 반추미생물 pellet을 주입하고 24시간 배양했을 때 protease를 처리한 곡류입자가 24시간 배양시 전분 소화율이 증진하였는데 이는 옥수수의 단단한 내배유속의 단백질 기질을 분해하여 미생물이 전분입자를 잘 공격할 수 있게 하기 때문이라고 하였다. 고로 전분의 소화를 저지하는 것은 전분입자내의 단백질 기질이라고 하였다.

### 전분소화효소의 적정 pH와 Ca첨가

소장내 소화효소는 작용하는데 적정 pH가 있는데 Russel 등<sup>17)</sup>은 amylase와 maltase의 적정 pH는 각각 6.9와 5.8이라고 하였다. 즉 amylase는 pH가 6.4로 0.5 떨어져도 효소활성이 8.0%로 저하하며 maltase는 pH 5.4에서는 효소활성이 86.5%로 떨어졌다.

소장내의 pH도 소장 부위별에 따른 소장 最上端部인 십이지장에서는 pH가 2.5정도이며 회장말단부는 pH가 7.0정도이다.

Russel 등<sup>17)</sup>이 소의 소장의 전체길이를 10등분하여 부분별로 pH를 측정해 본 결과 濃厚飼料 多給時는 소장 중간부위의 pH가 높고 소장 상단부와 하단부가 낮아졌으며 粗飼料 多給時는 소장 상단부가 낮고 하단부가 높았다고 하였다.

Buffer제를 투여하여 소장내 pH를 높여서 amylase 활성과 전분소화율을 증진시키려는 연구가 많이 수행되었으나 효과가 나타나지 않은 것으로 판명되었으며 다만 Goetsch와 Owens가<sup>43)</sup> 비육우에 CaCl<sub>2</sub>와 CaCO<sub>3</sub>로서 Ca 공급량을 증기시켰을 때 소장내에서의 전분소화율을 증진시켰다고 하였는데 이는 pH의 상승때문인 아니고 Ca 때문인 것 같다.

Deshpande와 Cheryan도<sup>44)</sup> amylase의 작용에 Ca이 필요하므로 Ca의 공급량을 증가시킴으로서 amylase의 활성이 높아졌다고 한다.

Burghardi 등<sup>45)</sup>은 곡류함량이 높은 조사료에 Ca 요구량을 초과하여 Ca를 급여했을 때 반추위와 소장내의 pH를 높여 전분소화율이 증진된다고 하였으며 Owens<sup>1)</sup>은 기초사료의 Ca 수준이 0.35% 이하일때만 Ca 수준을 높였을 때 전분소화율이 증가된다고 하였다.

그러나 Burghardi 등<sup>45)</sup>은 비육우사료에서 Ca 수준을 0.31%에서 0.62%로 증가했을 때 전소화관내의 소화율도 0.31% 수준에서는 88.6%, 0.62% 수준에서는 91.7%로

서 Ca 수준에 의하여 별 영향을 받지 않았으며 단지 전분의 소화가 Ca 수준이 높을 때 반추위내에서의 소화율은 떨어지고 소장내의 전분의 소화율이 높아졌다.

### 조사료 수준 및 protozoa와 전분 이용

알칼리성 첨가제는 반추위내의 알곡의 소화율을 높이는 경향이 있으나 어떤 경우 반추위내 통과속도를 빠르게 하여 전소화관내의 소화율을 낮추는 경우가 있다는 실험 결과도 있다.

Ionophore는 일반적으로 잘 가공되지 않은 곡류의 소화율을 높이게 되며 성장촉진제나 향미제 등은 잘 가공되지 않은 전분의 전소화관내 소화율을 약간 낮추고 경향이 있다<sup>1)</sup>.

粗飼料의 형태와 수준이 전분소화에 상반된 영향을 미칠 수 있는데 즉 粗飼料가 곡류의 저작과 반추를 증진시키는 경우에는 전분의 반추위와 소장내 소화율이 증진될 것이나 반면 조사료의 급여량이 증가하면 반추위내 통과속도를 빠르게 하여 굵은 粒子가 소장내로 많이 내려가게 되어 전체 소화율을 감소시키게 된다. 곡류가공과 조사료 수준을 통옥수수 급여시 그 효과가 가장 두드러지게 나타나는데 즉 통옥수수를 급여할 때 조사료가 6% 이상이면 전소화관내의 전분소화율과 사료효율이 떨어진다. 증기박편 옥수수일 때는 조사료가 6% 정도로 낮을 때는 acidosis의 영향으로 사료효율이 나빠지게 된다<sup>46)</sup>.

젖소의 경우에는 소장내 포도당의 흡수량이 많아지면 insulin의 분비를 촉진하게 되고 insulin은 유지방이나 우유分泌보다는 체지방의 축적을 증가시키므로 착유우에서는 소장내 포도당 흡수량을 낮추고 반추위내 전분소화율을 증가시키는 곡류 가공방법인 고수분곡류로서 저장하는 방법이 가장 좋다고 하겠으며<sup>47)</sup> 곡류 분쇄와 증기박편처리도 에너지 이용효율을 높일 수 있는 방법이다<sup>48)</sup>.

Leonard 등<sup>49)</sup>은 비육우에 통옥수수(WC)와 분쇄한 옥수수(GC)를 건조와 동시에 급여하는 경우(WH)와 건조 급여후 4시간후(AH)에 옥수수를 급여할 때 비육우의 증체량, 사료효율, 전분소화율 등을 비교한 결과 증체량은 분쇄 옥수수를 건조와 동시에 급여할 때 증체량이 가장 높았고 전분 소화율은 분쇄한 옥수수가 통옥수수보다 유의적으로 높았으며 분중에 배설된 전분은 통옥수수의 경우가 분쇄 옥수수보다 2배 이상 많았다.

Mendoza 등은<sup>50)</sup> tallow와 monensin을 면양에 급여했을 때 protozoa의 수가 1/3정도로 감소하였는데 protozoa를 제거했을 때 전분 소화율에 미치는 효과를 분석해 보면 반추위내에서의 전분 소화율은 대조구에 비해 유의적( $P < 0.01$ )으로 증가한데 비하여 소장내 소화율은 크게 감소하였다( $P < 0.01$ ).

Protozoa를 제거하면 반추위내 미생물의 amylolytic activity가 증가하여 반추위내 전분의 소화율을 증가한다고 하였다. 고로 protozoa는 반추위내 전분 소화율을 저하시켜 acidosis 증상을 경감시키는 작용이 있다.

## 요 약

곡류 사료의 가공 방법이 전분의 소화율, 가축의 증체율, 사료 효율에 미치는 효과에 대하여 1970년대 이후 지금까지 많은 연구결과가 발표되었다.

본 연구에서는 전분의 구조적 특징, 호화 및 반추위내 미생물의 전분 소화 기전, 가공방법과 소화속도, protozoa의 역할, 반추위를 통고하여 소장내에서 소화되는 전분의 소화과정과 소장내 소화율이 낮아지는 이유에 관한 많은 연구자들의 견해를 기술하였다.

곡류의 가공방법은 사료중의 곡류사료의 종류, 함량, 같이 급여하는 조사료의 양과 질에 따라 소화율, 증체율, 사료효율에 미치는 효과가 달라지므로 소화율을 향상시키는 곡류 가공방법보다 증체율과 사료효율의 증진이 더 중요하므로 경제적이며 효율이 높은 곡류 가공방법은 가축에 급여하는 사양조건을 종합적으로 검토한 후 결정하여야 한다.

## 참 고 문 헌

- Owens, F.N., R.A. Zinn and Y.K. Kim. *J. Anim.Sci.* 63 : 1634(1986)
- Zinn, R.A., C.F. Adam and M.S. Toyama, *J.Anim.Sci.* 73 : 1239(1995).
- Whistler, R.B. and J.R. Daniel, *Molecular structure of starch chemistry and technology*(2nd Ed). pp. 153 - 182. Academic press. N.Y.(1984)
- Armstrong, D.G. *Cerecal processing and digestion.* U.S. Feeds Grain Council(1972)
- Rooney, L.W. and R.L. Pflugfelder. *J. Anim.Sci.* 63 : 1607(1986)
- Hale, W.H. *Feed preparation and processing* In D.C. Church(Ed.) *Digestion physiology and nutrition of ruminants.* Vol. 3 p. 35. O & B Books, Inc., Corvallis, OR(1980)
- Kim Y.K. and F.N. Owens. *Oklahoma Agr. Exp. Sta. Mp-117* : 298(1985)
- Galyean, M.L., D.G. Wagner and F.N. Owens. *J. Dairy.Sci.* 64 : 1804(1981)
- Owens F.N. and Y.K Kim. *Proceedings of Florida Nutrition Conference, Dayton Beach*(1986)
- 김영길. *한국영양사료 연구회보* 10(2) : 201(1986)
- 김영길·한창수·이광목. *동아대 농업기술 연구소보* 11(1) : 21(1990)
- 김영길·한인규. *한국영양사료학회지* 13(2) : 107 (1989)
- 김영길·정인걸. *농촌진흥청 산학협동 논문집.* 337-343(1988)
- 김영길. *곡류사료의 가공과 이용.* 한국영양사료학회 사료단기과정 188-203(1989)
- 배희동·K.J. Cheng·T.A. Mc Allister·신형태. *한국 영양사료학회지* 16(6) : 359(1992)
- Czerkawski, J.W. *An Introduction to Rumen Studies.* Pergamon Press. Oxford, 1986.
- Russell, J.R., A.W. Young and N.A. Jorgensen. *J. Anim. Sci.* 52 : 1177(1981)
- Wheeler, W.E. and C.H. Noller. *J. Anim. Sci.* 44 : 131(1977)
- Orskov, E.R., R.W. Mayes and A. Penn, *Proc, Nutr. Soc.* 30 : 43A(1971)
- Kreikemeier, K.K., D.L.Harmon, R.T. Brandt, Jr., T.B. Avery and D.E. Johnson, *J. Anim. Sci.* 69 : 328 (1991)
- Chary, J. J., G.E. Mitchell, Jr., C.O. Little and N.W. Bradley. *Can. J. Physio. Pharmacol.* 47 : 161(1969)
- Johnson, A.R., Harwitz and N. Kretchmer. *J. Nutr.* 107 : 87(1977)
- Sanford, P.A. *Digestive System Physiology.* University Park Press(1982)
- Nicoletti, J.M., C.L. Davis, R.B. Hespell and J.A.Z. Leedle. *J. Dairy Sci.* 67 : 1227(1984)
- Shapiro, A. and B. Shapiro. *Biochim. Biophys. Acta.* 586 : 123(1979)
- Smadja, C., J. Morin, P. Ferre and J. Girand. *Am. J. Physiol.* 254 : E407(1988)
- Streeter M.N., D.G. Wagner, C.A. Hibberd and F. N. Owens. *J. Anim. Sci.* 68 : 1121(1990)
- Streeter M.N., D.G. Wagner. C.A. Hibberd and F.N. Owens. *J. Anim. Sci.* 68 : 3429(1990)

29. Zinn, R.A. J. Anim. Sci. 68 : 767(1990)  
 30. Zinn, R.A. J. Anim. Sci. 68 : 776(1990)  
 31. Zinn, R.A. J. Anim. Sci. 71 : 3(1993)  
 32. Engstrom, D.F., G.W. Mathison and L. A. Goonewardene. Animal Feed Science and Technology 37 : 33 (1992)  
 33. Grimson, R.E., R.D. Weisenburger, J.A. Basarab and R.P. Stilborn. Can. J. Anim. Sci. 67 : 43(1987)  
 34. Mathison, G.W., R. Hironaka, B.K. Kerrigan, L.P. Milligan and R.D. Weisenburger. Can. J. Anim. Sci. 71 : 867(1991)  
 35. Focant, M., A. Van Hoecke and M. Vanbelle. Animal Feed Science and Technology 30 : 69(1990)  
 36. Owens, F.N. Distiller's Feed Conference 37 : 41(1982)  
 37. Galyean, M.L., D.G. Wagner and F.N. Owens. J. Anim. Sci. 49 : 04(1974)  
 38. McAllister, J.A., L.M. Rode, D.J. Major, K.J. Cheng J.G. Buchanansmith. Can. J. Anim. Sci. 70 : 571(1990)  
 39. Martin, P.A. and P.C. Thomas. J. Sci. Food Agri. 43 : 145(1988)  
 40. Fluharty, F.L. and S.C. Loerch. Can. J. Anim. Sci. 69 : 173(1989)  
 41. Mc Allister, T.A., R.C. Rhillippe, L.M. Lode and K.J. Cheng. J. Anim. Sci. 71 : 205(1993)  
 42. Oke, B.O. and S.C. Loerch. Animal Feed Science and Technology 34 : 163(1991)  
 43. Goetsch, A.L. and F.N. Owens. Anim. Sci. 61 : 995 (1985)  
 44. Despande, S.S. and M.Cheryan. J. Food Sci. 49 : 516(1984)  
 45. Burghardi, S.R., J.E. Garrett, R.D. Goodrich and J.C. Meiske. J. Anim. Sci. 70 : 591(1992)  
 46. Turgeon, O.A.Jr., D.R. Brink and R.A. Britton. J. Anim. Sci. 57 : 739(1983)  
 47. Tyrrell, H.F. and G.A. Varga. J. Dairy Sci. 67 : 131 (1984)  
 48. Moe, P.W. and H.F. Tyrrell. J. Dairy Sci. 60 : 752 (1973)  
 49. Leonard, E.S., K.R. Pond, R.W. Harvey and R.G. Crickekerger. J. Anim. Sci. 67 : 1603(1989)  
 50. Mendoza, G.D., R.A. Britton and R.A. Stock. J. Anim. Sci. 71 : 1572(1993)