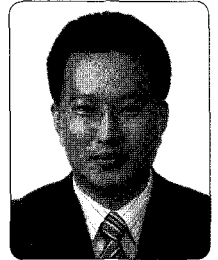


# 고능력우 사양에 있어서 NPN 등 수용성 단백질 공급의 중요성



김 태 규  
카길애그리퓨리나R/D 박사

## 1. 서론

비단백태 질소화합물(Non-Protein Nitrogen; NPN)은 아미노산이나 순단백질은 아니지만 질소(N)를 함유하고 있어 젖소에 단백질을 공급해주는 것과 같은 역할을 한다는 사실은 반추영양학 전공자가 아니라도 젖소 사양에 조금이라도 관심이 있는 사람은 누구나 알고 있다.

그런데 1970~80년대, 미국에서 식물성 박류의 가격이 급등하면서 상대적으로 가격이 저렴했던 NPN을 과도하게 사용하면서 일부 생산성 및 번식 성적 저하와 같은 부작용이 발생하기도 하였다. 이는 당시 젖소의 단백질 요구량을 단순히 조단백질(CP, Crude Protein)의 총 공급량으로 맞추다 보니 단백질 종류에 따라 분해 속도가 다르다는 점을 이해하지 못하고 분해속도가 매우 빠른 NPN의 과용으로 암모니아 중독 문제가 발생했던 것이다.

하지만 그 이후로 단백질을 분해 속도에 따라 분류하기 시작하면서 반추위에서 빠르게 분해되는 수용성 단백질의 공급 필요성이 부각되고, 그 대표적 원료인 NPN의 적정 급여 수준이 이미 정립되어 있음에도 불구하고, 일부에서는 과거 NPN의 이해 부족으로 발생했던 문제점을 부각하면서 NPN의 사용을 무조건 부정적으로 보는 시각이 낙농가 사이에서 확산되는 것을 우려스럽게 생각하면서 본 원고를 통해서 필자는 특히 고능력우 사양에 있어서 NPN과 같은 용해성 단백질의 공급이 왜 중요하고 필요한지에 대해 설명하고자 한다.

## 2. 젖소의 단백질 이용

과거 젖소에게 공급하던 단백질은 조단백질의 급여수준이 가장 중요한 요인으로 여겨졌지만 지금은 단순한 단백질 수준뿐 아니라 분해 속도에 따른 분류 및 급여 비율을 중요하게 인식하고 있다. 그 대표적인 예로서 최신 미국 사양표준(NRC, 2001)의 근간이 되는 미국 코넬대학교 젖소 영양모델(CNCPS)에서는 젖소사료에서의 단백질을 표1과 같이 분류하고 있다.

이 표에서 A와 B1 분획은 수용성 단백질로 정의할 수 있는데, 급여 직후 반추위액에 바로 용해되는 질소 화합물을 의미하는 것으로 반추위 미생물에 의해 그 만큼 빨리 이용될 수 있는 특징이 있으며, NPN, 질산염, 아미노산, 펩타이드 및 일부 용해가 빠른 순단백질 등이 여기에 속한다.

표 1. CNCPS에서의 단백질 분류 및 반추위 분해 속도(Chalupa와 Sniffen, 1994)

분류	구성성분	반추위 분해속도 (%/h)	소장소화율 (%)
A	NPN, 질산염, 아미노산, 펩타이드	즉시 분해	100
B1	글로불린, 일부 알부민	200-300	100
B2	대부분의 알부민, 글로테린	5-15	100
B3	프로타민, 세포벽 단백질	0.5-1.5	80
C	변성단백질, 리그닌결합단백질	0	0

B2 분획은 반추위에서 서서히 분해되는 단백질로서 앞의 A, B1 그리고 B2분획을 모두 합쳐 반추위 분해 단백질로 정의할 수 있다. 한편, B3 분획은 반추위 미분해 단백질로서 일반적으로 우회단백질이라고 부르는데 반추위에서 분해되지 않고 소장으로 이동하여 소화/흡수되는 단백질이 이에 속한다.

C 분획은 불용성 단백질로서 반추위 및 소장 모두에서 이용되지 못하고 우분으로 빠져나가는 단백질로 리그닌 등과 같은 물질에 결합된 결합단백질이나 고온 가열처리로 발생하는 변성단백질 등이 이에 속한다.

그림 1에 나타난 것과 같이, 젖소의 소장에서 흡수되는 단백질은 반추위 미생물체 단백질과 반추위에서 분해되지 않고 소장으로 이전되는 반추위 미분해 단백질로 구성되는데(그림 1), 이 중 반추위 미생물체 단백질은 유량이 30kg 미만인 젖소의 아미노산 요구량 대부분을 충족시킬 수 있으며, 반추위 미생물체 단백질의 아미노산 구성은 사료로 공급되는 반추위 미분해 단백질보다 젖소가 요구하는 아미노산 구성에 더 가깝기 때문에, 반추위 미생물체 단백질 합성은 젖소의 단백질 영양에 있어서 매우 중요하다는 점을 꼭 기억할 필요가 있다(NRC, 2001).

특히, 반추위 미생물은 반추위 분해성 단백질에서 분해되어 나온 펩타이드, 아미노산, 암모니아 등으로부터 질소원을 공급받을 뿐 아니라 NPN의 분해로 생성된 암모니아로부터 질소를 공급받을 수 있기 때문에 반추위 미생물의 합성을 극대화시키기 위해서는 적절한 양의 수용성 단백질과 반추위 분해성 단백질을 공급하는 것은 매우 중요하다.

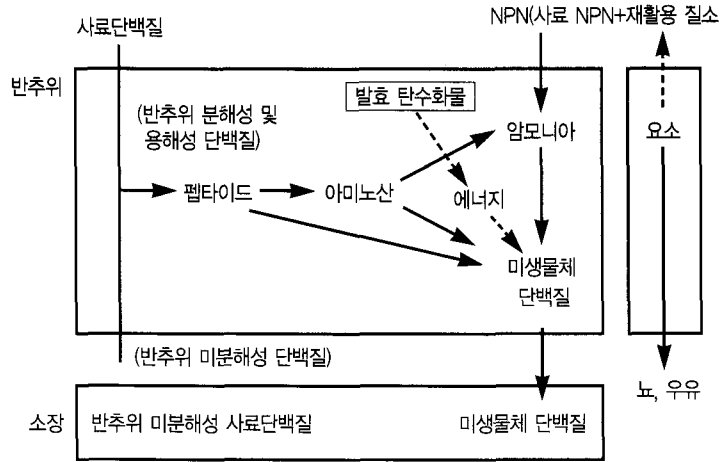


그림 1. 질소의 단백질 이용경로

또한, 반추위 미생물체 단백질 합성에는 질소원 뿐만 아니라 체합성에 필요한 에너지 공급을 위해 분해속도에 따른 적절한 발효 탄수화물의 공급이 반드시 필요하며 이는 반추위 발효 동기화라는 개념으로 설명할 수 있다.

### 3. 반추위 발효 동기화

앞에서 언급하였듯이, 미생물체 단백질의 합성에는 체조직을 구성하기 위해 필요한 질소원과 체구성에 요구되는 에너지원의 공급 균형이 매우 중요한데, 이는 반추위 내 질소원과 에너지원의 발효가 같은 속도로 이루어지게 해서 반추위 미생물의 성장에 필요한 질소와 에너지를 동시에 공급해 주어 반추위 미생물의 증식 효율을 높일 수 있기 때문이다.

발효 속도를 조절했을 때 반추위 내 암모니아와 휘발성 지방산의 변화 곡선(그림 2)을 보면, 건초를 급여했을 때는(그림 2-A) 질소원과 에너지원 모두 서서히 분해되어 암모니아와 휘발성 지방산의 농도가 같은 비율로 증가하게 되는데, 이때 생성된 암모니아와 휘발성 지방산이 모두 미생물체 단백질로 전환될 수 있으며 생성된 질소와 미생물 질소의 비율이 거의 1:1이 된다. 그러나 사일리지만을 급여했을 때는(그림 2-B), 사일리지 내 NPN의 함량이 높기 때문에 신속히 발효되어 반추위 내 암모니아 농도는 급격히 증가하게 되는 반면 빨리 분해되는 탄수화물의 부족으로 질소와 에너지의 공급 균형이 맞지 않아 생성된 암모니아를 미생물이 모두 이용할 수 없게 되고 남은 부분은 반추위벽을 통해서 흡수되어 일부는 재활용되지만 많은 부분은 체외로 배출되게 된다(그림1 참조).

하지만 사일리지에 빨리 분해되는 탄수화물을 같이 급여하면(그림 2-C), 암모니아 생성량 만큼 휘발성 지

>> 사양관리 >>

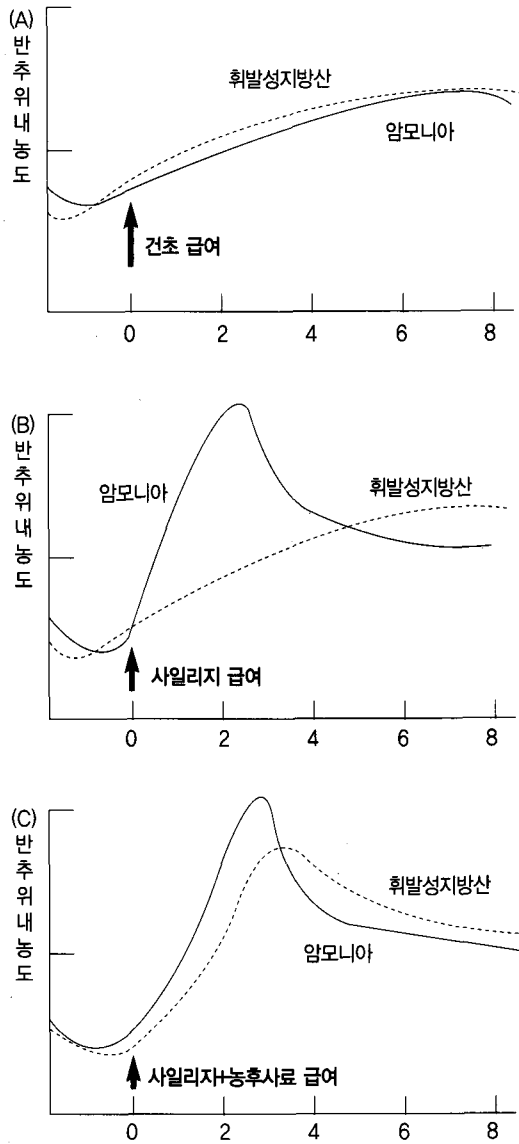


그림 2. 사료의 종류에 따른 반추위 내 암모니아 및 휘발성지방산의 생성량 변화(Webster, 1993)

방산이 생성되어 질소와 에너지의 균형을 이루게 되고 이로 인해 미생물 합성 효율이 더욱 극대화 된다. 즉, 반추위 발효가 진행되는 기간 동안 빨리 분해되는 질소 및 에너지원의 균형과 천천히 분해되는 질소 및 에너지원의 균형을 함께 맞춰주어야만 미생물 합성을 최대로 할 수 있고 비로소 유량 생산의 극대화를 기대할 수 있게 되는 것이다.

#### 4. 고능력우에 있어서 수용성 단백질의 필요성

젖소에 단백질과 탄수화물의 균형이 완벽한 사료를 공급하면, 수용성 단백질 중 순단백질은 반추위에서 빠르게 펩타이드 → 아미노산 → 암모니아로 분해되고 NPN은 바로 암모니아로 전환되게 된다. 그 후 암모니아는 반추위 미생물에 의해 이용되는데 이 때 신속히 분해되는 탄수화물과 동기화를 이루어 반추위 미생물체 단백질 합성이 이루어지게 된다. 또한 천천히 분해되는 반추위 분해 단백질은 천천히 분해되는 탄수화물과 동기화를 이루게 된다. 그러나 신속히 분해되는 탄수화물이 존재하는 사료와 함께 옥수수 글루텐이나 주정박 같이 분해가 서서히 이루어지는 단백질을 공급했을 경우에는 유생산량이 실제로 감소하는데, 이는 급여 초기 질소원과 에너지원의 불균형으로 에너지는 넘치는데 비해 아미노산을 구성할 질소원이 부족하기 때문이다.

서서히 분해되는 탄수화물로만 구성된 사료를 급여할 경우에는 발효동기화를 위해 수용성 단백질을 급여할 필요가 없겠지만 반추위 발효가 최대로 이루어지지 않기 때문에 유생산량이 높지 않다. 고능력우에서 높은 유생산량을 기대하기 위해서는 반추위 발효를 극대화 시켜야 하고, 따라서 천천히 분해되는 질소원과 에너지원 급여뿐만 아니라 급여 초기 신속히 분해될 수 있는 질소원과 에너지원의 급여는 필수적이라 하겠다. 일반적으로 고능력우 사양에 있어서 약 60%는 반추위 분해 단백질을, 약 40%는 반추위 미분해 단백질 급여가 권장되고 반추위 분해 단백질의 절반, 즉 총 단백질의 30% 정도가 수용성 단백질로 공급할 것을 권장하고 있는데, 순단백질로만 이 필요한 30%를 채울 수 없으므로 NPN의 활용은 반드시 고려되어야 한다.

고능력우에게 NPN과 같은 수용성 단백질의 급여가 필요한 또 다른 이유는 반추위 산도 조절에 유리하다는 점이다. 요소와 같은 NPN의 급여는 발효 초기 다량의 암모니아를 생성한다. Boucher 등(2007)의 연구에 따르면 무요소 TMR에 요소를 TMR 중 0.9%까지 단계적으로 증가시켰을 때 암모니아 질소의 생성량이 9.0 mg/dL에서 17.4 mg/dL으로 증가했다고 보고하였다. 또한 반추위 pH 역시 비슷한 추세로 증가하였는데, 이는 암모니아가 반추위 내 산도에 알칼리화 정도에 기여하는 물질이기 때문이다. 고능력우의 경우 탄수화물이 다량 함유된 사료의 섭취량이 높게 마련인데, 이럴 경우 반추위 발효가 왕성하게 이루어져 반추위 pH가 발효 초기 크게 떨어지는 경향이 있다. 반추위 pH가 적정 수준보다 낮으면 산독증과 같은 문제가 발생하기 때문에 고능력우에 있어서 발효 초기 암모니아를 신속히 생성시킬 수 있는 NPN의 급여는 반추위 산도 조절에 있어서 매우 유리할 수밖에 없다.

#### 5. 수용성 단백질의 종류

수용성 단백질에는 글로블린과 같이 일부 반추위액에 빠르게 용해되는 순단백질이 포함되나 대부분은 NPN이다. NPN의 종류로는 요소, 뷰렛, 염화암모늄, 라이신 CMS, 프로테일 등이 있는데, 요소는 백색의 합성 결정체로 탄소골격에 아미노기 2개가 붙어있는 순수 질소화합물이며, 뷰렛은 요소 2분자를 한 분자로 응축해 놓은 물질이다. 염화암모늄은 중조를 만들 때 부산물로 나오는 물질로 아미노기와 염소 한 분자가 각

>> 사양관리 >>

각 결합되어 있는 형태이며, 국내에서 NPN원으로 가장 많이 활용되고 있는 라이신 CMS(Condensed Molasses Soluble)는 미생물 발효에 의해 합성아미노산인 일종인 라이신을 생산할 때 발생하는 부산물로서 검은색의 액상이며 프로테일(proteil) 역시 라이신 CMS와 비슷한 합성 글루타민산의 생산 과정에서 나오는 부산물이다. 이러한 부산물들은 칼륨, 마그네슘, 황, 염소와 같은 불순물을 함유하고 있으므로 사용시에는 이런 광물질의 함량까지 고려하여야 하며 부산물의 특성상 그 성분과 품질의 변이가 크다는 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 NPN 원료 중에서는 순수 질소화합물인 요소가 분해 효율이 높고 보다 일정한 성분을 가진 것으로 평가되고 있다.

### 6. 수용성 단백질에 대한 오해와 진실

서론에서 언급한 바와 같이 많은 낙농가들이 요소와 같은 수용성 단백질을 급여했을 경우 그 급여 수준과 상관없이 사료의 기호성이 떨어지고 번식 성적이 나빠지며 독성현상이 나타날 것으로 오해를 하고 있다. 과거에 이와 같은 부작용이 발생한 이유는 NPN에 대한 이해가 부족하여 요소 중독이 발생했기 때문인데, 요소 중독은 사료 중 NPN이 과다하게 들어있거나 급여 시 분리 현상, 짧은 시간 내 다량 섭취, 곡류 없이 저질 조사료만 함께 급여함으로써 수용성 탄수화물의 공급 부족 등의 원인으로 발생한다. 즉, NPN 자체가 독성을 가지는 것이 아니라 잘못된 NPN의 사용으로 혈액 내 암모니아 농도가 허용치 이상으로 높아져 암모니아 독성을 보이는 것이다.

표2에 나타난 것과 같이, 많은 연구결과를 보면 적정 수준을 사용했을 시 요소와 같은 NPN의 급여는 사

표 2. 요소 급여량이 사료 섭취량 및 유생산량에 미치는 영향

Boucher 등(2007): TMR에 추가 혼함, 44일 실험				
요소 첨가수준, %	0	0.3	0.6	0.9
총사료섭취량, kg	20.5	20.3	21.2	21.2
유생산량, kg	33.9	30.7	34.6	33.0
Holter 등(1968a): 대두박 대체, 220일 실험				
요소 첨가수준, %	0	1.5		
농후사료섭취량, kg	7.72	7.82		
유생산량	25.27	25.68		
Holter 등(1968b): 대두박 대체, 120일 실험				
요소 첨가수준, %	0	1.25	2.0	2.5
총사료섭취량, kg	16.91	17.43	16.95	16.99
유생산량, kg	24.21	28.45	25.91	27.21
Colovos 등(1967): 대두박 대체, 120일 실험				
요소 첨가수준, %	0	1.25	2.0	2.5
총사료섭취량, kg	19.29	19.21	20.03	20.13
유생산량, kg	24.82	24.89	25.02	24.23

표 3. 요소 급여량이 번식 성적에 미치는 영향

Ryder 등(1971)

	0	1-60 g	61-120 g	121-180 g	181 g 이상
요소 급여량	0	1-60 g	61-120 g	121-180 g	181 g 이상
평균 급여량	0	36.1 g	90.5 g	146.7 g	219.5 g
분만간격	314.4일	313.4일	317.8일	316.5일	313.7일
불임으로 인한 도태	2.2%	2.4%	2.4%	2.6%	1.7%

료 섭취량과 유생산량에 아무런 부정적 영향을 미치지 않았으며, 오히려 대부분의 실험에서 사료섭취량과 유생산량이 증가하는 경향을 가져오기도 했다.

또한 미국에서 5년간 3,157농가의 85,281건의 번식 데이터를 분석한 논문(Ryder 등, 1971)에서는 요소 사용 농가(4가지 수준으로 급여량을 나누어서 비교)와 무요소 사용 농가의 젖소 분만간격과 불임으로 인한 도태비율에 차이가 없었다고 보고하고 있다(표3).

국내에서 생산하는 배합사료는 암모니아 증독을 발생시킬 수 있는 한도 이내에서 NPN을 사용하고 있고 펠렛 사료 내 잘 혼합되어 있어 분리현상이 발생하지 않는다. 또한 대부분의 젖소 사양에서는 TMR을 이용하기 때문에 짧은 시간에 NPN을 다량 섭취하는 우려도 있을 수 없다. 또한 근래 들어 우유 중 요소태질소를 활용하여 단백질 영양을 평가하는 사양관리가 널리 이용되고 있는데 이를 이용하여 암모니아 증독을 미연에 방지할 수 있다. 또한 배합사료 내 당밀이나 곡류원료를 이용하여 수용성 탄수화물이 부족하지 않도록 총 전분질 및 당 함량을 고려하여 설계함으로써 NPN이 미생물체 단백질로 전환되는 비율을 높이고 있다.

## 7. 결론

과거에 NPN 과다 급여로 인해 생산성 저하를 가져왔던 경험 때문에 무요소 사료를 원하는 낙농가가 많은 것은 안타까운 일이다. 요소와 같은 NPN은 젖소의 생산성을 감소시키는 원인이 아니라 고능력우의 생산성 향상을 위해 적절히 사용해야 할 필수적인 원료이기 때문이다. 낙농 선진국의 반열에 오른 우리나라의 젖소에 배합사료를 공급하는 대부분의 사료회사들은 탄수화물과 단백질의 균형된 설계를 할 수 있는 기술을 보유하고 있다. 이러한 점들을 고려할 때, 과거와 같은 NPN 과용으로 인한 문제는 다시 발생할 가능성이 없다고 해도 과언이 아니다. ㉞