

3. 우유의 유전자형 (遺傳子型) 유단백질 다형 (多型)의 선발

마가렛드·마슈-즈 박사
<호주 빅토리아주 연구소>
분자유전학과장

○ 유단백 (乳蛋白)의 성분

우유는 주로 물, 지방, 단백질, 유당, mineral(광물질)로 구성되어 있다. 이들중 낙농 생산의 cost의 면에서 제일 경제가치가 높은 성분은 지방과 단백질이다. 유지방은 butter 및 cheese의 원료로서 사용되어 왔기에 전통적으로 유대산정(乳代算定)의 기초로 되어 있었다. 그러나 근년에 이르러 소비자의 저지방 제품의 지향화(指向化) 경향에 따라 유지방에 비교하여 유단백의 경제가치가 높아지고 이것이 많은 나라에 있어서 홀스타인-후리지안종을 우세(優勢)한 품종으로 올려 놓았다.

우유에는 두종류의 단백질; Casein과 유장(乳漿)의 단백질이 포함되어 있다. casein은 유단백 전체의 약80%를 점하고 α_{S1} -casein, α_{S2} -casein, β -casein, K-casein의 3종류로 나눌수 있다. 유장의 단백질은 나머지의 20%를 구성하고 유방내에서 합성되어진다. β -lactoglobulin, α -lactoalbumin, lactoferrin과 혈액으로 부터 이행(移行)하는 혈청 albumin, transferrin, 면역 globulin이 있다.

α_{S1} -casein과 β -casein은 유단백의 주성분으로 각각 전유단백(全乳蛋白)의 30%를 점한다. r-casein은 β -casein에 plusmin

이라고 하는 효소가 작용하여 분해가 일어나는 것이다. 유단백의 거의 대부분은 Casein-mineral이라고 하는 상태로 존재한다. K-casein은 다른 단백질의 침전을 막는 중요한 역할을 갖고 있다. 우유를 기모신(렌닌)이라는 효소로 처리하면 응고하여 판지모양으로(card)된다.

유장의 단백질은 주로 β -lactoglobulin(전유단백의 10%를 점함)과 α -lactoalbumin(전유단백의 약3.7%를 점함)으로 되어 있다.

○ 유단백의 유전적 변이(變異)

주요 유단백의 많은 것은 다수의 단백질 변이체의 하나로서 자연에 존재하고 있다. 여하한 단백질도 모두 그 화학구조는 유전적으로 결정되어진다. αS_1 -casein, β -casein, K-casein, β -lactoglobulin과 같은 단백질의 경우에는 유전적으로 결정되어짐과 동시에 그 각각에 두개 혹은 세개 이상의 유전적 변이체가 있다. 이들의 변이체는 단백질을 code하는 유전자에 변화가 일어나는 것이 원인으로 유전자의 변화는 amino산조성, 나아가서는 단백질의 구조에 변화가 생기고 새로운 변이체가 생긴다. 유전적 변이체간의 다름은 통상적으로 Amino산의 화학적 구조가 1개소 내지 2개소가 변화할 뿐이지만 몇개의 amino산이 결실(結實)한다고 하는 변이체도 있다.(예를들면 αS_1 -caseinA와 αS_1 -casein β 와의 관계가 그것이다.) 표1은 각종 유단백의 유전적 변이체를 일관표로 나타낸 것이다. 그들의 유전적 변

이체의 모두가 현대의 유우에 존재할 이유는 아니다. 가령 대개의 소의 품종에서는 αS_2 -caseinA의 대립유전자가 보일 뿐이고 αS_2 -caseinC는 야구에 보일 뿐이다. 또 casein에는 유전적 변이만이 아니고 인산화(磷酸化) 혹은 당쇄형성(糖鎖形成)과 같은 번역후 수식(修飾)으로부터 생기는 변이체도 있다.

〈표 1〉 유우의 주요한 유단백에 있어서 확인되어진 유전적 변이체

단 백 질	유전적 변이체
αS_1 -casein	A, B, C, D, E
αS_2 -casein	A, B, C, D
β -casein	A ¹ , A ² , A ³ , B, C, D, E
K-casein	A, B
β -lactoglobulin	A, B, C, D, E, F, G
α -lactoalbumin	A, B

이들의 변이체는(대립유전자) 유전적 지배를 받아 mendel식으로 유전한다. 각기의 유단백에서 1개의 대립유전자(가령 A 또는 B)는 어느 것인가 한쪽의 어미로부터 받아 이어지기 때문에 어떤 개체가 한조(1助)의 대립유전자의 유전자형이 AA, AB, BB의 어느 것이 되는가는 어미의 유전적 구성에 좌우된다.

유전적 변이체의 발생 및 발생빈도는 유우의 품종에 따라 달라진다. 대개의 유우의 품종에서는 αS_1 -caseinB, αS_2 -caseinC, β -caseinA¹, β -caseinA², β -caseinB, K-caseinA, K-caseinB, β -lactoglobulinA, β -lactoglobulinB가 제일 보통의 유전적 변이

체이다. αS_2 -casein은 대부분 우유의 품종에서는 대립유전자A만이 보였으며 또 α -lactoalbumin은 대립유전자B만이 보인다. 많은 품종에서 αS_1 -casein의 대립유전자B와 β -casein의 대립유전자A(A¹, A², A³)의 출현빈도(出現頻度)가 높고 반대로 타방의 대립유전자의 출현이 드물었다. 또 K-casein은 대개의 품종에 있어 대립유전자A의 쪽이 대립유전자B보다 출현빈도가 훨씬 높다. 표2는 각종 유단백의 호주의 Jersey와 Holstein종에 있어서 변이체의 대립유전자의 출현빈도를 비교한 것이다.

각 유단백의 각기의 변이체는 우유의 유제품 제조상의 성질에 다른 영향을 미친다. 가령 K-casein의 유전적 변이체는 렌넷당시간(렌넬트 첨가로 부터 세절까지의 시간)에 관계되고 β -lactoglobulin의 유전적 변이체는 cheese 제조의 비율에 관계한다. K-casein과 β -lactoglobulin의 유제품 제조상에 미치는 주된 영향은 유전적 변이체와 이에 대응하는 단백질의 산출량과의 사이에 관계에 의해 설명할 수 있다. 이것이 변이체 자체의 화학구조의 변화에 의한 직접의 영향인지, 변이체가 다른 조절 유전자의 marker(표시)로 하여 기능하고 있기 때문인지 현재로서는 판명되지 않고 있다. 변이체의 단백질은 그 화학구조의 변화 때문에 다른 성질을 갖고 있다. 또 유단백의 유전적 변이체와 우유의 비유형질과의 사이에 상관성이 있다고 하는 증거도 있다.

후리지안종에서는 「BB」라고 하는 표현형이 희소(5%)하다고 하는데 대해 Jersey종에서는

흔히 있는 type이다(64%) K-casein 「BB」인 우유는 같은 「AA」의 그것보다 K-casein, 유지지방분, 전유고형분의 함유률이 높다는 것이 판명되었다. 높은 산유량과의 상관이 있다고 하는 보고도 있으나 모든 연구에서 확인되었다는 의미는 아니다. 가령 「BB」라고 하는 표현형의 소는 유량이 적다는 결과를 얻었다. K-casein이 「BB」라고 하는 우유와 가열(加熱), 동결(凍結)에 대하여 비교적 안정성이 있고 cheese제조상 비교적 바람직한 성질이다(약 5~10% 정도 cheese의 제조비율이 좋다) Jersey종의 우유는 후리지안종의 우유에 비하여 열에 대한 안정성이 좋다. 이것은 K-casein의 「BB」라 하는 유전자형의 출현빈도가 비교적 높다는 것과 이에 관련하여 「미세르」가 비교적 작다는 것이 관계가 있는 것 같다.

β -lactoglobulin의 변이체는 후리지안과 저지에서 거의 같은 양으로 분포하고 있다. 「AA」가 약20%, 「BB」가 약30%, 「AB」는 약50%이다. β -lactoglobulin의 type가 「AA」의 소로부터의 우유는 같은 모양의 「BB」의 우유와는 화학적 조성이 다르다고 보고하고 있다. 즉, β -lactoglobulin의 type가 「AA」의 소로부터의 우유는 같은 「BB」의 소의 우유 보다 유장(乳漿) 단백질이 25% 높고, casein단백질이 7% 낮고, 유지지방은 11% 낮고 전유고형분이 6% 낮았다고 보고하고 있다. β -lactoglobulinA의 우유에서 유장 단백질 함유량이 보다 높은 것은 β -lactoglobulin의 함유량이 크게 증가하기 때문이

다. β -lactoglobulin이 「AA」의 소로부터의 우유에 있어서는 α -lactalbumin의 함유율이 낮았다. 네덜란드의 후리지안(Friesian)과 홀스타인(Holstein) 후리지안과의 교배에 관한 연구에서는 유지방율에 있어 통계적으로 극히 유의(有意)의 영향이 있고(「BB」소의 우유는 유지율이 높다) 유량에 있어서도 통계적으로 유의(有意)의 영향을 미친다고 하고 있으며 「BB」의 소는 「AA」의 소보다 유량이 적다고 보고되고 있다.

〈표 2〉 호주의 저-지와 홀스타인에 있어서 단백질 변이체 대립유전자의 출현빈도의 비교

유전적 변이체	Jersey	Holstein
α S ₁ -casein		
B	63	94
C	37	4
β -casein		
A ¹	7	63
A ²	56	35
A ³	0	0.4
B	36	3
K-casein		
A	23	68
B	77	32
β -lactoglobulin		
A	33	39
B	57	60
C	11	0

한편 α S₁-casein의 B대립유전자는 고유량(高乳量)을 가져올 가능성이 있다고 하거나 같은 C대립유전자는 고단백질을 가져올 가능성이 있다고 하는 보고가 있다.

또 β -casein이 유단백질량에 통계적으로 유의(有意)한 영향을 미치고 있다고 하는 몇개의 보고가 있다. 가령 A³와 B의 대립유전자간 제일 깊은 관계가 있다고 보고하고 있다.

유성분 및 유질의 변화를 달성하고자 하는 관심이 특별히 생산되어지는 우유가 거의 cheese제조에 보내지게 되어 현저히 높아지고 있다. 이것은 우유의 화학적 성분 및 가공상의 성질에 영향을 미치는 각각의 유전자(유전적 변이체)의 특징의 대립유전자에 관해 선발하는 것에 의해 가져오게 될 것이다. 가령 K-casein이 「BB」, lactoglobulin이 「BB」의 후리지안종의 우유는 cheese제조용으로서 바람직스러운 것이다. K-casein의 유전자형 「BB」에 관련하고 있는 유량의 저하를 다소라도 막기 위해서는 β -casein의 「A」대립유전자의 선발도 또 행하여야 할 것이라고 시사하고 있다. 그러므로 cheese제조용쪽으로 우유를 출하하는 우군은 이 type의 유전자형을 갖고 있는 수소를 선발 교배할 일이다.

K-casein의 유전자형은 유단백질율과 관계하고 있으며 β -lactoglobulin의 유전자형은 유지율과 관계하고 있으므로 K-casein과 β -lactoglobulin의 유전자형은 유단백질율과 유지율의 추정(推定)육종가때문에 입력정보(入力情報)로서 이용할 수 있을 것이다. 따라서 이 정보는 비유형질에 대한 선발에 의해 유전

개량을 증진시킬 수가 있을 것이다.

근년에 이르기까지 유단백질 유전자의 유전적 변이는 우유에서 채취한 유단백의 전기영동(電氣泳動)에 의해 발견되어왔다. 전기영동에 의한 단백질의 분리는 전하(電荷)의 다름을 이용한다고 하는 기술에 근거하고 있다. 그래서 단백질의 진짜의 전하(電荷)의 다름을 일으키는 Amino산의 차이만이 검출할 수가 없었다. 그러나 최근에 이르러 단백질의 분리를 위해서 고정도기법(高精度技法)이 개발되어 이때까지 알려지지 않은 단백질 변이체의 검출에 성공하였다.

종래 casein에 관계된 유전자군은 소의 제6번체의 염색체(染色體)상에 핵산(核酸)의 길이 단위로, 200kilo base 미만의 범위에서 상호 밀접하게 연결되어 존재하고 있다고 하여왔다. α -lactoalbumin과 β -lactoglobulin도 다른 염색체상에 존재하고 있다는 것으로 그 유전자 지도가 작성되었다.

유단백질에 관계하는 유전자의 구조는 DNA염기배열(鹽基排列) 결정에 의해 명백하게 되었다. 유단백 유전자의 DNA염기배열 결정에 관한 식견(識見)은 유단백의 유전자형을 직접적으로 파악할 수 있다. DNA base의 기법을 개발하기 위해 이용되어 왔다. 이 기술은 수소와 비유하고 있지 않는 암소에 대하여 행해지고 변이체를 확인하는 것을 가능케한다. 유단백 유전자의 확인은, 또 발육의 초기단계의 것 혹은 가능성으로서, 수정란 까지도 행할 수가 있다. 유단백의 유전자형에 관한 지견(知見)은 유축(有畜)의 단계에서 선발을 행하는

다배란(多卵) 수정란이식을 중핵(中核)으로 하는 개량변식사업에 있어 특히 공헌할 것이라고 생각하고 있다.

호주 홀스타인-후리지안협회는 「Maternal Might」사업용 종모우는 모두 유단백의 유전적 변이체의 감정을 행할 것을 결정하였다. 「Maternal Might」사업으로 공용(供用)하고 있는 종모우는 호주 홀스타인-후리지안 협회의 홀스타인종 진흥전략에 중요부분의 하나이다. 유단백의 유전적 변이체의 특수작용에 관한 식견이 증가 하는데 따라 또 인공수정용 종모우나 ET용 donor가 특수 구체적인 유전자의 생애로서 확정 증명할 수 있게끔 되면 선발을 통하여 홀스타인종우의 우유의 성분이나 유질을 개선하여 갈 수 있는 일이 가능하게 될 것이다.

