

고산유우에서 번식효율이 저하되는 원인과 대처방법

- 분만철에 영향을 미치는 요인들 -



남향미
농림축산검역본부
세균질병과/수의연구사
namhm@korea.kr

들어가는 말

집중적인 유전적 선발 등으로 젖소의 산유량은 크게 증가했지만 젖소의 번식력은 세계적으로 점차 줄어들고 있어서, 일부에서는 현재의 고능력생산시스템을 언제까지나 계속 유지할 수는 없을 것이라는 예측이 나올 정도이다. 특히 고능력우에서 나타나는 번식력 저하의 원인은 유전적, 생리학적, 환경적 및 사양관리 등 다양한 요소들이 복잡하게 상호작용한 결과로 나타난다. 이러한 여러 가지 다양한 요인들의 번식효율에 대한 부정적인 영향이 많은 연구자들에 의해 밝혀졌으며, 그 중 다음번 번식률에 영향을 미치는 분만 후 초기에 있을 수 있는 요인들에 대해서는 지난 호에 본 지면을 빌어 기술한 바 있다. 본고에서는 지난 호에 이어서 분만철에 젖소의 번식력에 영향을 미치는 인자들에 대하여 고찰하고자 한다.

분만철에 젖소의 번식력에 영향을 미치는 요인들

분만간격을 365일로 하기 위해서는 교배철이 분만 후 60일에 시작되어야 하며 수태기간을 282일로 추정하면 소는 분만 후 83일에 수태되어야 한다. 젖소가 교배하기 좋은 상태에 있도록 하려면 비유초기에 발생하는 문제들이 해결되어야 한다. 여기에는 자궁감염의 치료, 에너지소실로부터의 회복 및 정상적인 발정주기수립 등이 포함된다. 젖소의 성공적인 임신 및 임신 유지를 방해하는 여러 가지 원인들을 아래에 기술하였다.

1. 발정 행동(Oestrous behaviour)

배란에 맞춰 적절한 시기에 수정할 수 있으려면 소가 정상적인 발정주기를 가지고 있고 분명한 발정징후를 나타내는

것이 필수적이다. 발정 징후가 뚜렷하지 않아서 발정을 쉽게 감지할 수 없으면 정확한 시기에 수정을 시키기가 더욱 어려워진다. 발정을 검출하는 방법에 따라 검출 효율도 달라지는데, 연구자들의 보고에 의하면 발정징후를 육안적으로 관찰하고 암소의 꼬리에 색소를 칠해서(tail paint) 수소의 승가 여부를 확인하는 방법을 보조적으로 사용했을 때는 발정 검출률이 25~96%(평균 70%)였고, 계보기(pedometer)를 이용한 경우에는 발정 검출률이 80~100%로 나타났다. 발정징후가 미약하게 발현되는 요인에는 소 자체의 요인과 환경적인 요인의 두 가지로 분류할 수 있다. 소 자체의 요인으로는 둔성 또는 무배란성 무발정, 산차, 산유량 및 건강문제가 포함되고, 환경적 요인으로는 영양, 우사, 계절, 그리고 동일우군 내 동시적으로 발정기에 있는 소의 숫자 등이 포함된다.

현대의 목장에서 파행(절뚝거림, lameness)의 발생률은 2%~20%까지 있을 수 있으며, 비유 개시 60일~90일 사이에 가장 흔히 발생한다. 분만 후 발정주기율이 정상적으로 재개된 후에 발생한 파행은 발정을 관찰하는데 아무런 영향도 미치지 못하지만, 발정이 발현되는 강도와 운동량을 감소시키고 성적으로 활동적인 그룹으로부터 고립된다.

개방형 우사에 비해 계류형 우사에 있는 소들은 발정 징후가 덜 뚜렷하다. 또한, 발정기간 중 시간당 승가횟수가 개방형 우사에 있는 소(11.2회)에 비해 방목하는 소에서 더 적는데(5.4회), 그 이유 중의 하나는 방목하는 소들은 제한된 우사 안에 있는 소들보다 풀을 뜯어먹는데 더 많은 시간을 소비하기 때문일 것이다. 발정행동 지속시간도 콘크리트 바닥으로 된 우사에 있는 소들은 1.3시간으로 콘크리트 우사와 운동장 둘 다에 접근할 수 있는 소들의 5.5시간에 비해 짧은 것으로 관찰되었다.

여러 가지 생리학적 상태도 발정 발현에 영향을 미친다. 첫째, 산유량이 높은 소들(> 39.5 kg/일)은 산유량이 그보다 낮은 소들(< 39.5 kg/일)보다 발정기가 더 짧았고(6.2 시간: 10.9 시간), 승가허용(가만히 서있는) 시간도 더 짧았으며(21.7초: 28.2초), 혈청 oestradiol 농도도 더 낮았다(6.8 pg/ml: 8.6 pg/ml). 산유량이 높은 소에서 oestradiol 농도가 낮은 이유 중의 하나로 설명된 것은 산유량이 높은 소에서의 건물(dry matter) 섭취량 증가로 인해 대사작용에 의한 oestradiol의 배출률이 증가되었다는 것이다. 이를 뒷받침하는 것으로서 분만한 적 없는 처녀우는 발정기 즈음에 oestradiol 농도가 훨씬 더 높았는데, 이것은 아마도 경산우에 비해 미경산우에서 발정 지속기가 좀 더 길었고 승가허용시간도 더 길었기 때문일 것이다. 둘째, 에너지소실은 파동성 황체형성호르몬의 분비와 IGF(insulin-like growth factor)-I 농도를 감소시킨다. 황체형성호르몬과 IGF-I는 상호적으로 난포발육을 촉진하는 역할을 하기 때문에, 에너지소실이 일어난 동물에서는 난포의 기능이 제대로 작동하지 못하게 됨에 따라 oestradiol 농도를 저하시키게 되고 결과적으로 발정의 발현이 미약하게 된다. 마지막으로, 파행이나 유방염 같은 스트레스 요인들은 성선자극호르몬방출호르몬(GnRH)과 황체형성호르몬의 파동주기를 줄임으로서, 단기적으로 난포에서 생산되는 oestradiol의 감소는 물론 황체형성호르몬 급증(surge)이 지연되고 진폭이 줄어든다. 열대나 아열대 지역에서 고온 스트레스를 받은 소에서는 무발정이나 둔성발정(silent ovulation)의 발생률이 증가된다. 발정을 보인 소에 수정시킨 후 배란 실패율은 연구자에 따라 6~16%의 범위에 있을 수 있으며, 기온이 25℃ 이상인 시기에는 발생 가능성이 3.9배 더 높아진다.

결론적으로, 발정의 지속기간과 강도가 줄어드는 것이 고산유우의 특징이며 고온 스트레스를 받는 시기에는 더 악화된다. 그러므로, 정확한 시기에 수정시킬 수 있도록 발정 검출을 위해 더 많은 주의를 기울여야하고 이를 위해 새로운 도구를 사용할 필요도 있다.

2. 수정 실패(Fertilisation failure)

고산유우에서 수태 실패율이 높은 이유로서 고온 스트레스, 난모세포의 질과 정자의 특징과 같은 요인들이 주목을 받아 왔다. 높은 기온은 성공적인 수태에 해로운 영향을 미칠 수 있다. 인공수정하기 전 50일~20일간의 고온 스트레스는 난모세포의 질 저하 및 초기 태아 발육의 저하와 관련

이 있다. 이와 유사하게, 인공 수정 전에 고온 스트레스에 노출된 소들은 그렇지 않은 소들에 비해 수태할 가능성이 31~33% 더 낮았다. 서늘한 계절에는 비유우와 비유하지 않는 소의 수태율이 서로 비슷했지만(87.8% : 89.5%), 기온이 높은 기간에는 비유우가 처녀우보다 수태율이 더 낮았다(55.6% : 100%). 이러한 조건들은 고온 스트레스 이외에도 우유생산 여부와 같은 생리적 상태가 수태의 성공에 크게 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 앞에서도 언급한 바 있지만, 난모세포의 질에 대한 고온 스트레스의 영향은 겨울철에 비해 여름철에 비유우에서 관찰되는 글루코스, IGF-I, 및 콜레스테롤의 저하, 비에스터화지방산(NEFA)과 요소의 증가와 같은 난포액의 생화학적 성분 변화의 결과일 것이다. 따라서, 에너지소실, 비정상적인 성선자극호르몬의 분비, 자궁 감염 등 분만 후 초기에 발생하는 질병들은 차후에 난모세포의 발달과 기능에 해로운 영향을 미칠 수 있다.

활력, 형태, 기능적 및 분자학적 자질과 같은 정자의 형질의 결함은 성공적인 수태에 장애가 될 수 있다. 이는 정자의 수태부위 도달불가(수정 시술자의 영향이나 스포의 영향으로), 난모세포 침투불가, 난모세포와 접촉이 이루어졌더라도 수태개시 불능, 다정자 수정 방지 불능, 수정화과정 유지불능 또는 그 이후의 태아형성불능 등을 통해 발생할 수 있다.

결론적으로, 난모세포의 질에 대해서는 충분히 정의되지 않았고 분만 후기의 대상성 질환 및 질병이 난모세포의 질에 미치는 영향에 대해서도 아직 잘 밝혀지지 않았다. 그러나, 앞에서 언급된 질병과 질환들을 줄일 수 있도록 사양관리를 하면 부가적으로 난모세포의 질과 수태율을 높이는데도 좋은 효과가 있을 것이다.

3. 배아 사망(Embryo mortality)

난모세포의 질에 대한 궁극적인 시험은 임신이 되고 살아 있는 송아지를 생산할 수 있도록 난모세포가 수정되어 배반포(blastocyst) 단계로 발육할 수 있는 능력이다. 배아 사망은 번식이 실패하는 주된 원인 중의 하나이다. 조기 배아사는 수정당일~수태한지 24일 사이에 발생하고, 말기 배아사는 태아 분화가 완료되는 25일~45일 사이에 발생하며, 태아사(fetal mortality)는 그 이후부터 분만시까지 발생하는 것을 말한다. 연구자들의 보고에 따르면, 대부분의 배아사망이 수태해서 처음 3주 이내에 발생한다. 그러나, 초기 배아사가 발생하는 시기는 연구자들 간에 일치하지 않아서, 수태 후 첫 주 이내에 발생률이 가장 높다는 보고도 있고 수태 후 2주 이

내에 가장 많이 발생한다는 보고도 있다. 따라서, 여기서는 배아사의 시기를 3개로 나누어서 보고자 한다: 수태일에서 7일까지 일어나는 최조기 사망, 7일~24일 사이의 조기 사망, 24일~45일에 나타나는 말기 배아사(45일 이후에 시작하는 것은 태아사로 봄)

3.1. 최조기 배아사

(Very early embryo mortality, 수정당일~7일)

매우 이른 시기에 발생하는 배아사의 원인은 난모세포의 질이 좋지 않았거나 부적절한 자궁환경으로 인해 초기의 배아가 발육하지 못했다는데 초점을 둔다. 수태 후 배아발육에 영향을 주는 난모세포의 질에 직접 또는 간접적으로 작용하는 요소들에 대해서는 앞에서도 언급된바 있다. 실제적인 산유량과는 상관없이, 실험실적으로 7일까지 배아를 발육시켰을 때, 우유생산에 대한 높은 유전적 장점을 가진 소들에서 분리한 난모세포는 중등도의 유전적 장점을 가진 소들에서 분리한 난모세포에 비해 질이 더 낫다는 사실은 일반적으로 의견이 일치한다. 또한, 우유를 생산하는지 안하는지와 같은 생리적인 상태가 배아의 질에 중대한 영향을 미친다. 비유를 하지 않는 처녀우 젖소와 비유우에서 수태한 지 7일에 얻은 배아는 비유 중인 젖소에서 얻은 배아에 비해 질이 더 좋았다. 수태 5일에 비유 중인 젖소에서 얻은 배아의 질보다 비유하지 않는 동일품종의 처녀우에서 얻은 배아의 질이 더 좋았다. 극히 초기의 배아는 배란 후 자궁으로 이동하기 전에 4~5일간 난관에 머무른다. 이 난관에서 이온, 아미노산, 글루코스와 같은 영양소와 IGF-I 과 IGF-II 같은 국소적인 성장인자들을 발육하고 있는 접합체에 제공하는데, 이는 모체의 영양, 에너지 균형 및 비유상태에 의해 달라질 수 있다.

비유 중인 젖소에서는 수정 후 7일 이내에 자궁의 환경이 초기 배아를 발육시키기에 최적의 상태가 아닐 수 있다. 최근에 내시경 이동기술을 이용한 한 연구에서 실험실적으로 생산한 배아 1800개를 미경산 처녀우와 분만한지 약 60일 된 비유 중인 젖소의 난관에 발정주기 2일째에 이송시킨 결과, 배아 회수율이 처녀우(80%)에서 경산우(57%)보다 훨씬 더 높았고 회수된 배아 중 처녀우에서 회수된 배아의 34%가 배반포 단계였는데 비해 경산 비유우에서 회수된 배아는 18%만이 배반포 단계에 있었다. 이는 비유 중인 젖소의 생식관이 처녀우의 생식관에 비해 초기 배아의 발육을 위한 환경이 더 좋지 않다는 것을 시사한다.

Progesterone은 임신 호르몬이며 소에서의 조기 임신에 있

어서 이 호르몬의 역할은 최근에 많은 주목을 받았다. 주로 7일 후 모체의 황체기 프로제스테론 농도에 관심이 기울어져 왔던 반면, 이제는 7일 이전의 농도에 대한 새로운 정보들이 나오고 있다. 수정시킨 후 좀 더 일찍 4일~7일 사이에 프로제스테론 농도가 상승하는(즉 이 시기에 농도가 더 높은) 소들은 농도가 좀 더 늦게 올라가는 소들에 비해 임신을 유지할 가능성이 더 높다. 이는 임신 초기에 전신의 프로제스테론 농도가 5배 상승하는 것과 임신 13일~16일에 태아의 크기 증가와 관련이 있었다는 연구결과에 의해 뒷받침된다. 더욱이, 배란 후의 프로제스테론 농도 상승이 지연되는 것이 경산우와 처녀우 모두에서 임신률 감소와 관련이 있었다는 보고도 있다. 현재 생각은 프로제스테론은 태아에 직접적인 영향이 없거나 있더라도 제한적으로만 영향을 미치지만, 프로제스테론의 조기 상승은 수정 7일 후 배아 발육을 자극하는 자궁내막의 호르몬 분비를 변화시킴으로서 태아(conceptus)를 키우는데, 이렇게 큰 태아는 모체가 임신한 사실을 좀 더 잘 나타낼 수 있다.

결론적으로, 질 좋은 난모세포를 배란하는 것이 중요하며 가장 초기의 배아가 발육하기에는 대사성질환이나 질병을 최소로 겪은 자궁이 바람직하다. 7일 이전에 순환하는 프로제스테론 농도의 적절한 상승도 이후의 배아발육에 매우 좋다.

3.2. 조기 배아사

(Early embryo mortality, 수정 후 7~24일)

배아는 수정 후 5일~7일에 자궁으로 내려온다. 이때부터 15일이 될 때까지의 기간에 배아는 미분화세포를 형성하고 이것이 가늘고 긴 실모양의 태아로 발육하여 자궁각을 차지한다. 자궁의 미세환경이 배아의 질을 결정하는 주된 역할을 한다. 프로제스테론과 IGF의 농도가 낮으면 조기 배아 발육을 지원해줄 수 없는 적정하지 못한 자궁 미세환경을 만들 수 있다. 자궁의 기능은 배아의 사망과 흡수를 초래할 수 있는 병원성 세균의 존재에 의해서도 손상된다.

앞에서 언급되었던 바와 같이, 프로제스테론 농도의 조기 상승은 모체가 임신을 인식하게 되는 시기에 태아의 발육 촉진과 크기에 관련이 있다. 길게 발육한 태아가 해야 할 일은 모체의 임신 인식 신호를 나타내고 자궁으로부터 황체퇴행성 prostaglandin F_{2α}의 방출을 억제하기 위해 적절한 농도의 interferon tau를 생산하는 것이다. 이러한 일은 작은 배아보다는 큰 배아가 더 쉽게 할 수 있다. 모체의 임신인식 실패로 인한 조기 배아소실이 젖소에서 임신이 실패하는 이유 중의 최대 25%를 차지하는 것으로 여겨진다. 약 5%의 배아는 발

육을 방해하는 총체적 염색체 이상으로 인해 죽는다는 것도 기억해야 한다.

결론적으로, 이전에 발생한 자궁감염과 낮은 프로제스테론 농도로 인한 부적절한 자궁환경으로 인한 작은 배아의 발육이 배아 사망 기회를 크게 증가시키며 모체의 임신인식과 임신유지 가능성을 감소시킨다.

3.3. 말기배아사와 초기태아사(Late embryo and early fetal mortality, 수정 후 24일-285)

수태 25일~45일에 발생하는 배아의 사망을 말기배아사, 46일~분만시까지에 발생하는 태아의 사망을 초기태아사라고 규정한다. 연구결과에 따르면, 방목시스템에서 관리되는 소들의 경우 24일~80일 사이에 발생하는 태아 소실률은 매 비유기당 평균 7247kg을 생산하는 비유우에서는 약 7%이고 처녀우에서는 6%이며, 이러한 태아소실의 48%가 수태 28일~42일 사이에 발생하였다. 그러나 비유기당 11,000 kg에서 12,000 kg의 우유를 생산하는 집약적으로 관리되는 젖소들의 경우는 20%의 배아가 수태한지 28일~98일 사이에 소실되었다. 말기배아사와 초기태아사를 일으키는 요인들은 유전적, 생리학적, 내분비학적 및 환경적 요소들로 분류된다. 그 외에도 병원성 인자로 인한 감염은 소에서 배아소실 및 태아소실을 일으킬 수 있다. 여러 가지 세균성, 바이러스성, 곰팡이성 및 원충성 병원체들은 소에서 불임이나 유산을 일으킨다.

말기배아사와 초기태아사는 수정 후 24일 이내에 나타나는 배아사에 비해 발생률이 비교적 낮기는 하지만, 특히 계절적인 분만 우군을 운영하고 있는 낙농가들에게 재정적인 손실과 함께 사양관리의 어려움을 보여준다. 따라서, 유산과 사산을 피하기 위해서는 수태 중기~말기 사이에 환경적 스트레스 요인들과 병원체에 대한 노출을 최소화하는 것이 중요하다.

3.4. 신생우 사망, 송아지 사망률, 처녀우 사육 및 번식

출생 후의 시기는 도태된 젖소를 교체할 충분한 처녀우를 생산하는 맥락에서 중요하다. 정상적인 수태에 이어 분만한 후 첫 48시간 이내에 발생하는 출산전후사망률(perinatal mortality)은 50% 이상이 난산과 상관이 있고 일부 국가에서는 그 발생률이 증가하고 있다. 사산률은 경산우에서 6-8%이고 처녀우에서는 11-30%로 발생률이 다양한데, 아마도 태아-골반 크기의 부적합이 처녀우에서의 출산전후 태아사망의 주된 원인일 것이다. 근친교배 역시 난산이나 사산 발생

률이 증가하는 원인이 되며, 그 영향을 경감시키는 방법으로 이중교배를 이용할 수 있다. 쌍태분만도 출산전후의 태아사망 위험을 증가시킨다: 단태분만시 7.2%에 비해 쌍태분만시 28.2%에서 송아지 한마리 또는 두마리 모두가 죽은 것으로 보고된다. 신생 송아지의 사망률은 주로 로타바이러스, 코로나바이러스, 장내병원성 대장균, 살모넬라 및 크립토스포리디움과 같은 감염성 인자에 의해 발생한다.

결론

산유량이 높은 젖소에서의 번식능력은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 첫번째로 고려해야 할 점은 수 많은 부정적인 결과를 초래하면서 불임의 기전을 일으키는 주된 요인중의 하나인 에너지 소실이다. 또한, 자궁이 임신을 수립하고 유지하기에 유리한 환경을 제공하기 위해서는 분만 후 자궁의 염증과 감염으로부터 회복되는 것이 결정적으로 중요하다. 따라서, 분만후 초기에 초점을 맞춰 번식력을 향상시키기 위한 향후의 전략은 에너지 소실의 정도와 지속기간을 최소화하고 자궁감염을 치료하는데 바탕을 두어야 한다. 발정 주기와 임신일을 정확히 감지하고 배란에 맞춰 정확한 시기에 수정시키는 것이 무엇보다 중요하고 배란과 질 좋은 난모세포의 수태가 뒤따라야 한다(1일). 이러한 일이 일단 이루어졌으면, 초기(수정후 3일~7일)에 프로제스테론 농도가 상승해야 배아 발육을 자극하도록 자궁내막의 호르몬 분비를 변화시켜(6-13일) 결과적으로 배아가 커져서 적절한 양의 interferon tau를 생산(14-18일)하여 자궁의 프로스타글란딘 분비를 변화시키고 모체가 임신을 인식하도록 신호를 보낸다(16-18일). 번식력 개선을 위해서는 문제에 대해 전체적인 시각으로 접근해야 하며 임신에 관련한 생리학적 요인들을 개선할 수 있는 유전적 및 사양관리적 해결책에 집중할 필요가 있다.📌

참고 문헌

1. Walsh SW, Williams EJ, Evans ACA review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. Anim Reprod Sci, 2011 123(3-4):127-138. Review.
2. Dobson H, Smith R, Royal M, Knight Ch, Sheldon I. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. Reprod Domest Anim, 2007 Sep;42 Suppl 2:17-23. Review.

※ 본 원고는 위의 참고문헌 중 주로 Walsh 등(2011)의 리뷰 내용을 발췌하여 번역한 것입니다.