



Effekten av negativ energibalans på hormonell reglering och brunstcykeln hos mjölkkor

Elin Nilsson

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för kliniska vetenskaper
Djur och hållbarhet (kandidat)
Uppsala 2025



Effekten av den negativ energibalansen på hormonella regleringen och brunstcykeln hos mjölkkor

The effects of negative energy balance on hormonal regulation and the estrous cycle in dairy cows

Elin Nilsson

Handledare: Renée Båge, SLU, institutionen för kliniska vetenskaper
Examinator: Cecilia Kronqvist, SLU, institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd; Idisslarnutrition

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap, G2E
Kurskod: EX0865
Program/utbildning: Djur och hållbarhet (kandidat)
Kursansvarig inst.: Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2025

Nyckelord: Fertilitet, HPO-axeln, GnRH, LH, FSH, östrogen, progesteron, follikel, gulkropp, oocytkvalitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för kliniska vetenskaper

Sammanfattning

En god reproduktiv hälsa hos mjölkkor utgör en grundförutsättning för en effektiv och hållbar mjölkproduktion. Fertilitet hos mjölkkor är ett väl studerat ämne, och flera studier har påvisat en negativ korrelation mellan mjölkproduktion och fertilitet. Under de senaste 50 åren har mjölkproduktionen per ko fördubblats, vilket har medfört ökade utmaningar i att upprätthålla optimal reproduktionshälsa. Syftet med denna litteraturstudie var att sammanställa aktuell forskning om negativ energibalans (NEB) och dess inverkan på hormonell reglering och brunstcykeln hos mjölkkor. Flertalet studier indikerar på ett tydligt samband mellan NEB och nedsatt fertilitet. NEB påverkar nivåerna av metabola substanser och har en hämmande effekt på hormonproduktionen i hypotalamus, hypofysen och livmodern. Detta resulterar i en dysfunktionell hypotalamus-hypofys-ovarier-axel och försämrad fertilitet. Detta leder sedan till negativa konsekvenser på brunstcykeln i form av fördröjd eller utebliven brunst. Även follikelutvecklingen och oocytkvaliteten försämras av NEB.

Nyckelord: Fertilitet, HPO-axeln, GnRH, LH, FSH, östrogen, progesteron, follikel, gulkropp, oocytkvalitet

Abstract

Optimal reproductive health in dairy cows is a fundamental requirement for efficient and sustainable milk production. Fertility in dairy cows is a well-studied topic, and several studies have demonstrated a negative correlation between milk production and fertility. Over the past 50 years, milk production per cow has doubled, which has introduced increasing challenges in maintaining optimal reproductive performance. The aim of this literature review was to compile current research on negative energy balance (NEB) and its effects on hormone regulation and the estrous cycle in dairy cows. Several studies indicate a clear association between NEB and impaired fertility. NEB is affecting levels of metabolic hormones and exerts an inhibitory effect on hormone production in the hypothalamus, pituitary gland and uterus. This leads to a dysfunctional hypothalamic-pituitary-gonadal axis and reduced fertility. As a result, the estrous cycle is negatively impacted, manifesting as delayed or absent estrus. Follicular development and oocyte quality are also compromised by NEB.

Keywords: Fertility, HPO-axis, GnRH, LH, FSH, estrogen, progesterone, follicle, corpus luteum, oocyte quality

Innehållsförteckning

Figurförteckning	5
Förkortningar	6
Introduktion.....	7
1.1 Syfte och frågeställning	8
1.2 Material och metod	9
2. Litteraturgenomgång	10
2.1 Den negativa energibalansens påverkan på hormonell reglering	10
2.1.1 Hypotalamus och hypofysen	11
2.1.2 Metaboliska hormoner.....	11
2.1.3 Äggstockar och livmodern	12
2.2 Den negativa energibalansens påverkan på brunstcykeln	13
2.2.1 Fördröjd eller utebliven brunst.....	13
2.2.2 Follikel- och gulkroppsutveckling.....	13
2.2.3 Oocytkvalitet.....	14
3. Diskussion	16
4. Slutsats.....	19
Referenser.....	20
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	24

Figurförteckning

Figur 1. Illustration över HPO-axeln (egen illustration).....	10
---	----

Förkortningar

BHB	β -hydroxybutyrat
GH	Tillväxthormon
GnRH	Gonadotropinfrisättande hormon
HPO-axeln	Hypotalamus-hypofys-ovarier-axeln
FSH	Follikelstimulerande hormon
IGF-1	Insulinliknade tillväxtfaktor 1
LH	Luteiniserande hormon
NEB	Negativ energibalans
NEFA	Icke-förestrade fettsyror

Introduktion

Under de senaste 50 åren har mjölkavkastningen hos kor fördubblats (Växa 2025). Det föreligger samtidigt en negativ genetisk koppling mellan mjölkproduktion och fertilitet. Detta innebär att fertiliteten kan minska i takt med att mjölkproduktionen ökar (Oltenacu & Broom 2010), detta kan dock till viss del undvikas genom att samtidigt selektera för hög produktion och god fertilitet. Reproduktion är avgörande både för att initiera mjölkproduktionen efter kalvning och för att få fram nya djur som kan ersätta de äldre i besättningen (Diskin 2011). En god reproduktiv hälsa utgör därmed en grundförutsättning för en hållbar och lönsam mjölkproduktion. Bristande fertilitet på besättningsnivå kan leda till oplanerat förlängda kalvningsintervall, vilket i sin tur kan minska den genomsnittliga mjölkavkastningen per dag efter kalvning (Bisinotto et al. 2012). Nedsatt fertilitet försvårar rekryteringen genom att minska tillgången på kalvar, vilket ökar risken att kor med låg produktivitet eller hälsoproblem kvarhålls längre än optimalt. Det genetiska framsteget hämmas även när rekrytering behöver ske från de suboptimala korna i besättningen (NADIS 2015). För att kunna hålla en ko i produktion länge är det viktigt med en god fertilitet då en nedsatt fertilitet medför stor risk för utslagning (Bisinotto et al. 2012). De främsta orsakerna för utslagning 2024 var juversjukdom och nedsatt fertilitet, där 14,8 % av svensk Holstein slogs ut på grund av nedsatt fertilitet (Växa 2025).

När en ko hamnar i negativ energibalans (NEB) innebär det att hon gör av med mer energi än vad hon får i sig via sitt foderintag. Risken för NEB är särskilt hög under sen dräktighet och tidig laktation, då foderintaget begränsas av fostrets tillväxt och därefter ett kraftigt ökat energibehov till följd av mjölkproduktionen. För att kompensera energiunderskottet mobiliserar korna kroppsfett och muskelfävnad (Wathes et al. 2007). Risken för en allvarlig NEB är som störst ungefär 1-2 veckor efter kalvning och tillståndet kan kvarstå i upp till 5-7 veckor efter kalvningen (Grummer 2007). Eftersom det rekommenderade tidsspannet för insemination för att uppnå ett kalvningsintervall på ett år är 40-60 dagar efter kalvning (Växa 2023), innebär detta att många fortfarande befinner sig i NEB vid inseminationstillfället. Negativ energibalans har visats påverka både hälsa och reproduktionsförmåga negativt (Wathes et al. 2007).

Klimatförändringar kan förvärra situationen ytterligare. Värmestress minskar kons foderintag, vilket ökar risken för NEB och därmed för reproduktionsstörningar. (Wathes et al. 2007; Rhoads et al. 2009). Dessutom ökar ett varmare klimat risken för spridning av klimatkänsliga infektionssjukdomar, såsom blåtunga, vilket ytterligare kan påverka fertiliteten negativt (Guis et al. 2011; Sammad et al. 2020). Sammantaget understryker detta att korrekt utfodring och upprätthållen

energibalans blir särskilt viktig för att motverka de negativa effekterna på fertiliteten under framtida klimatförhållanden.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med detta arbete är att sammanställa aktuell forskning om negativ energibalans hos mjölkkor och dess påverkan på hormoner och brunstcykeln.

Frågeställningar som ska besvaras i studien är:

- Hur påverkar negativ energibalans hormonerna och dess reglering?
- Vilka förändringar i brunstcykeln kan kopplas till hormonell obalans orsakad av negativ energibalans?

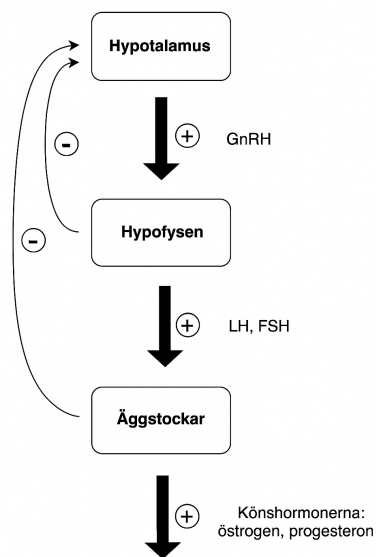
1.2 Material och metod

Vid genomförandet av denna litteraturstudie har elektiska databaser använts såsom Primo, Web of Science och Google Scholar. Sökord som användes var "dairy cow", "negative energy balance", "fertility", "hormones", "estrous cycle", "oestrous cycle", "estrus cycle", "oestrus cycle", "follicle" och "oocyte", sökorden användes i olika kombinationer. Sökningar med relevanta nyckelord resulterade i knappt 100 vetenskapliga artiklar. Ett urval kunde sedan ske utifrån relevans till kriterierna om negativ energibalans, hormoner och brunst. Urval utifrån geografiskt område ansågs ej nödvändigt i detta fall. Artiklar som har inkluderats har endast varit vetenskapliga och engelskspråkiga.

2. Litteraturgenomgång

2.1 Den negativa energibalansens påverkan på hormonell reglering

Reproduktion hos kon styrs av ett komplext hormonellt samspel mellan hypotalamus, hypofysen, äggstockarna och livmodern. Detta system kallas hypotalamus-hypofys-ovarie-axeln (HPO-axeln). Organen kommunicerar via positiv och negativ feedback för att reglera hormonfrisättning och reproduktiv funktion. Det huvudsakliga honliga könshormonet hos kon är östrogener, en grupp steroidhormoner där östradiol är den biologiskt mest aktiva formen. Östradiol produceras i äggstockarnas växande folliklar och dess frisättning regleras av hormoner från hypofysen. Från hypofysen utsöndras follikelstimulerande hormon (FSH) och luteiniserande hormon (LH), vilka är centrala för follikelutveckling och ägglossning. Denna hormonfrisättning styrs i sin tur av gonadotropinfrisättande hormon (GnRH), som produceras i hypotalamus (Sjaastad et al. 2016)



Figur 1. Illustration över HPO-axeln (egen illustration).

Kons brunstcykel varar i genomsnitt mellan 18 och 24 dagar och delas in i två huvudfaser: follikelfasen och lutealfasen. Follikelfasen består av proöstrus och östrus, medan lutealfasen omfattar metöstrus och diöstrus. Om kon inte visar någon cyklisk aktivitet eller ägglossning under en period kallas det anöstrus. Under proöstrus börjar folliklar i äggstockarna att växa och producera ökande

mängder östradiol. När östradiolnivåerna når en kritisk tröskel utlöses östrus, vilket kännetecknas av djurets sexuella mottaglighet och efterföljande ägglossning. Metöstrus inleds efter ägglossning och kännetecknas av bildningen av gulkroppen, vilket medför en övergång från östradioldominans till ökad progesteronproduktion. I diöstrus är gulkroppen fullt utvecklad och producerar höga nivåer av progesteron, vilket är nödvändigt för att upprätthålla en potentiell dräktighet. Om befruktning inte sker induceras luteolysen och gulkroppen tillbakabildas, vilket leder till kraftigt fall i progesteronnivåerna och därmed möjliggör initiering av en ny cykel (Sjaastad et al. 2016).

2.1.1 Hypotalamus och hypofysen

GnRH produceras i hypotalamus av neuroendokrina celler. Dessa ansvarar för den pulsatila, lågfrekventa frisättningen av GnRH, vilket är avgörande för att upprätthålla en jämn stimulering av hypofysen och därigenom ett stabilt flöde av FSH och LH. GnRH regleras genom negativ feedback, antingen via det långa återkopplingssystemet från äggstockarna eller med ett kortare återkopplingsvar via hypofysen (Sjaastad et al. 2016). Detta reproduktionshormonsystem får även signaler och reglerande feedback utifrån, bland annat via neuropeptiden kisspeptin, som påverkas av faktorer såsom nutrition och metabolism (Whitlock et al. 2008). Under större delen av cykeln utsöndras endast små mängder GnRH. Däremot vid låga progesteronnivåer och snabbt stigande östradiolkoncentrationer från den dominanta follikeln aktiveras de neuroendokrina cellerna ytterligare, vilket leder till kraftig frisättning av GnRH. Denna kraftiga stimulering utlöser en omfattande LH-frisättning från hypofysen, den så kallade "LH-toppen", vilket i sin tur inducerar den slutgiltiga mognaden av follikeln och ägglossning (Sjaastad et al. 2016). Under NEB kan hypotalamus visa en nedsatt förmåga att stimulera hypofysen till att frisätta LH i den mängd som krävs för normal reproduktionsfunktion (Bisinotto et al. 2012).

2.1.2 Metaboliska hormoner

Insulinliknade tillväxtfaktor 1 (IGF-1) är ett hormon som mestadels produceras i levern. Utsöndringen styrs till stor del av tillväxthormonet (GH) som binder till GH-receptorer. IGF-1 verkar sedan tillbaka genom negativ feedback på hypofysen som reglerar frisättningen av GH. Vid NEB sker däremot en minskning av GH-receptorer i levern och GH-IGF-axeln bryts. Detta leder till förhöjda nivåer av GH och minskade nivåer av IGF-1 (Lucy et al. 2001). Låga koncentrationer av IGF-1 är associerat med nedsatt fertilitet (Fenwick et al. 2008).

Insulin är ett metaboliskt hormon som påverkar frisättningen av LH från hypofysen genom metaboliska signaler. Flertalet studier påvisar att NEB orsakar minskade koncentrationer av insulin och därav också hämmar LH frisättningen (Butler 2003). Leptin är ett annat metaboliskt hormon som främst utsöndras av fettvävnad och dess koncentration är starkt korrelerat med hullpoäng. Leptin påverkar den pulserande LH frisättningen och påverkar både igångsättning av puberteten och den första ägglossningen efter kalvning. När kon ligger i NEB sjunker leptinkoncentrationerna, vilket hämmar LH frisättningen (Kadokawa & Martin 2006; Rasool et al. 2022).

2.1.3 Äggstockar och livmodern

De honliga gonaderna kallas för äggstockar och dess funktion är att producera äggceller och könshormonerna östrogen. I äggstockarna finns det folliklar som vardera innehåller en äggcell. Efter en ägglossning omvandlas follikeln till en gulkropp, en process som benämns luteinisering. Om kon blir dräktig kvarstår gulkroppen under hela dräktigheten och bildar progesteron, som är ett dräktighetsbevarande hormon. Progesteron hämmar pulsatile frisättningen av GnRH, vilket indirekt förhindrar att en ny brunstcykel initieras. Om befruktningen inte sker, genomgår gulkroppen luteolys, en process där den bryts ned spontant. Under luteolys sjunker progesteronnivåerna markant, vilket leder till att GnRH-pulsatiliteten ökar igen och en ny brunstcykel kan börja (Sjaastad et al. 2016).

Vid NEB när IGF-1 sjunker ses en minskad follikelkänslighet för LH samt nedsatt follikeltillväxt. På grund av detta minskar produktionen av steroidhormoner, bland annat östradiol (Butler et al. 2004). Minskad follikeltillväxt och produktion av östradiol försenar ägglossningen (Bisinotto et al. 2012). Till följd av detta fördröjs den första gulkroppsbildningen och därav hämmas återupptagandet av luteal aktivitet och progesteronproduktionen. Högproducerande mjölkkor genomgår en ökad katabolism av östradiol och progesteron i levern. Detta tycks bero på ett högt foderintag, vilket ökar blodflödet till bland annat levern och därmed påskyndar hormonernas nedbrytning (Sangsritavong et al. 2002).

2.2 Den negativa energibalansens påverkan på brunstcykeln

2.2.1 Fördröjd eller utebliven brunst

Energitillgång utgör en avgörande faktor för mjölkors reproduktiva funktion. Ett otillräckligt energiintag, både under tillväxten, samt under perioden före och efter kalvning, har visats hämma brunstens initiering och minska fruktsamheten. Under NEB försämras både kroppstillväxt och follikelutveckling, vilket resulterar i nedsatt uttryck av brunst och färre kor som återupptar regelbundna brunstcykler, vilket i sin tur försvårar planerad insemination och reproduktiv effektivitet (Hileman et al. 1999; Nigussie 2018).

Enligt Spicer et al. (1990) spelar östradiol, som syntetiseras av äggstockarnas folliklar, en central roll i regleringen av brunstbeteende hos kor. En minskning av IGF-1 till följd av NEB kan påverka folliklarnas östradiolproduktion negativt, vilket kan bidra till nedsatt brunstrespons. Mjölkcor som befinner sig i NEB uppvisar i allmänhet en reducerad förekomst av brunst innan den första ägglossningen efter kalvning, medan detta mönster inte observerades före den andra ägglossningen. Studien visade även att kor som visar brunst i samband med sin första postpartala ägglossning uppvisar en mindre uttalad NEB jämfört med individer utan brunsttecken. Brunst före ägglossning observerades hos 60 % av kor med positiv energibalans vid den första brunsten efter kalvning, jämfört med endast 16,7 % hos kor med negativ energibalans. Däremot kunde inga signifikanta skillnader i brunstförekomst relaterade till energibalans observeras vid den andra ägglossningen efter kalvning.

2.2.2 Follikel- och gulkroppsutveckling

Det tar minst 40 dagar för en follikel att mogna från ett tidigt utvecklingsstadium till att bli redo för ovulation. Den första ägglossningen efter kalvning bör optimalt ske inom 20-30 dagar postpartum (Wathes et al. 2007). Eftersom det rekommenderas att inseminera kor mellan 40 och 60 dagar efter kalvning för att nå ett 12-månaders kalvningsintervall (Växa 2023), hinner de vanligtvis genomgå en till två brunstcyklar före den första inseminationen. Detta innebär att utvecklingen av de folliklar som kommer att ovulera i början av betäckningsperioden inleds under den period då kon befinner sig i den mest intensiva NEB.

Utveckling av folliklarna efter kalvning kommer att ske oavsett energistatus, däremot kommer tillväxten till preovulatorisk storlek och sannolikheten för en

ägglossning minska vid låg hullpoäng (Beam & Butler 1999). Detta beror på att LH är fullkomligt nödvändigt för att follikeln ska mogna och för att en ägglossning ska ske, även produktionen av progesteron från äggstockarna är beroende av LH (Butler et al. 2008). Progesteron produceras av gulkroppen, vilket indirekt kopplar LH till gulkroppens utveckling och funktion (Sjaastad et al. 2016). Som tidigare nämnts bidrar NEB till lägre nivåer av insulin och IGF-1 och detta orsakar en minskad känslighet hos äggstocksfolliklarna för gonadotropinerna LH och FSH.

På grund av att tillväxt och östradiolproduktion från follikeln är beroende av LH-aktivitet kommer det ta längre tid efter kalvning innan en dominant follikel kan utvecklas som är tillräckligt stor och producerar tillräckligt med östradiol (Gomez-León et al. 2020). Detta leder till att den första ägglossningen efter kalvning fördröjs, eller att olika typer av fruktsamhetsstörningar uppstår, såsom utebliven ägglossning (Monteiro et al. 2021), dubbel ägglossning eller utveckling av äggstockscystor uppstår (Fricke & Wiltbank 1999).

Gulkroppens funktion påverkas negativt av NEB, vilket kan störa den normala reproduktiva cykeln. Detta yttrar sig ofta som utebliven eller oregelbundna progesteronprofiler (Bulman & Lamming 1978). Även när en ko i NEB uppvisar brunst och befruktning sker, kan en otillräcklig eller fördröjd ökning av progesteronnivåer efter befruktning uppstå, vilket försämrar embryots chans till överlevnad (Mann & Lamming 2001).

2.2.3 Oocytkvalitet

Vid NEB mobiliseras som tidigare nämnt fettreserver och detta leder till förhöjda nivåer av den metaboliska biprodukten icke-förestrade fettsyror (NEFA) i blodet (Butler et al. 2006). Detta återspeglas sedan i follikelvätskan som omger ägget. Blastocyter eller det tidiga utvecklingsstadiet av embryot påverkas av höga koncentrationer av NEFA genom att blastocyterna får ett lägre celltal och att en större andel av cellerna i blastocyten genomgår apoptos (Van Hoeck et al. 2011). När oocyten mognar vid närvaro av NEFA leder det till en försämrad oocytkompetens, definierad som oocyten förmåga att genomgå normal mognad, befruktning och tidig embryonal utveckling (Leroy et al. 2005).

Mobilisering av fettreserver kännetecknas även av låga glukoskoncentrationer och förhöjda β -hydroxybutyratnivåer (BHB) i blodet (Leroy et al. 2006). Dessa förändringar kan ses i follikelvätskan, vilket betyder att oocyten exponeras för onormala glukos- och BHB nivåer (Leroy et al. 2004). Glukos är avgörande för oocyten energiförsörjning då granulosa- och cumulusceller huvudsakligen

metaboliserar glukos. Dessa celler producerar sedan pyrovat och laktat, vilket oocyten sedan använder för ATP-produktion (Cetica et al. 2002). Leroy et al. (2006) utförde en studie där äggceller från nötkreatur mognades in vitro under glukos- och BHB-nivåer motsvarande subklinisk och klinisk ketos. Resultaten visade att både förhållanden som efterliknar subklinisk och klinisk ketos resulterade i en nedsatt utvecklingskompetens hos oocyten efter mognad. Vid klinisk ketos med måttligt låga till extremt låga glukoskoncentrationer försämrades oocyternas utvecklingsförmåga, vilket kopplas till hämmad cumulus-expansion och nedsatt blastocytutveckling. Höga BHB-koncentrationer gav ingen ytterligare negativ effekt utöver glukosbristen. Vid en subklinisk ketos där glukosnivån var måttligt låg försämrades embryots delningsfrekvensen och blastocytutvecklingen. När BHB tillfördes under dessa subkliniska förhållanden med måttligt låg glukosnivå fick det en additiv toxisk effekt, vilket ytterligare minskade blastocytfrekvensen. BHB i normala glukoskoncentrationer hade ingen effekt.

För att kompensera för bristen på glukos under NEB kan kroppen bryta ned aminosyror som lagrats i exempelvis muskelvävnad, denna katabolism leder sedan till ökad ureaproduktion (Wathes et al. 2007). Iwata et al. (2006) fann en signifikant korrelation mellan ökade ureakoncentrationer i follikelvätskan och nedsatt utvecklingspotential hos oocyterna. På grund av dessa förändringar i follikelvätskan kommer det finnas en ökad risk för tidig embryodöd.

3. Diskussion

Negativ energibalans kan påverka reproduktionsfunktionen hos mjölkkor genom flera samverkande mekanismer. NEB leder till förändringar i metabola hormoner såsom insulin, IGF-1 och leptin, vilket försämrar hypotalamus och hypofysens förmåga att upprätthålla en tillräckligt pulsativ frisättning av GnRH och LH. Detta resulterar i nedsatt follikelkänslighet för gonadotropiner, minskad östradiolproduktion och fördröjd eller utebliven ägglossning. Samtidigt påverkas äggstockarnas funktion direkt genom försämrad follikel- och gulkroppsutveckling samt indirekt genom ökad levermetabolism av könshormoner. De metabola förändringar som uppstår vid NEB återspeglas även i follikelvätskan, där förhöjda nivåer av NEFA, BHB och urea samt sänkta glukoskoncentrationer försämrar oocyten utvecklingskompetens och den tidiga embryoutvecklingen. Tillsammans bidrar dessa hormonella och metabola störningar till nedsatt brunstuttryck, försämrad fertilitet och ökad risk för tidig embryodöd hos högproducerande mjölkkor.

Utifrån litteraturgenomgången är det tydligt att NEB negativt påverkar HPO-axeln. Källorna är eniga om att foderintaget är avgörande för fertiliteten och att NEB kan ge stora konsekvenser på mjölkkons fertilitet. Källorna är även eniga om att den reproduktiva hälsan hos mjölkkor i en produktion är ytterst viktig för en lönsam och hållbar produktion. Den negativa effekten stöds både av studier genomförda i kontrollerade experimentella miljöer på oocyter och embryon och av studier på levande kor under produktionsförhållanden. Detta tydliggör att NEB är en central begränsande faktor för reproduktiv funktion.

Inom mjölkproduktionen kan olika produktionsmål och värderingar ge upphov till tydliga målkonflikter. Dagens mjölkkor har genom avel selekterats för en mycket hög mjölkavkastning, vilket kan öka risken för att djuren hamnar i NEB om de inte sköts och utfodras optimalt. Detta metabola tillstånd påverkar i sin tur kornas reproduktiva hälsa och fertilitet negativt. En ekonomisk målkonflikt uppstår därmed mellan att optimera för maximal mjölkproduktion och att samtidigt upprätthålla god reproduktiv hälsa och långsiktig hållbarhet i besättningen. Högt avkastning kan på kort sikt öka lönsamheten, men försämrad fruktsamhet medför ökade kostnader i form av längre kalvningsintervall, fler inseminationer per ko, högre veterinärkostnader och ökad utslagsfrekvens, vilket ställer större krav på tillräckligt med rekryteringsdjur.

Allaire (1981) belyser den ekonomiska målkonflikten mellan att maximera nettonuvärdet för besättningen eller maximerad mjölkavkastningen per ko. Resultaten visade att en låg frivillig utslagningsfrekvens, där frivillig utslagning

avser utslagning som inte är tvingad och där endast ett fåtal kor slås ut på grund av en låg avkastning, gav högst nettonuvärde för besättningen. Kostnaderna för rekrytering av nya kvigor och en sänkt medelålder översteg nämligen de ekonomiska vinsterna av att höja den genomsnittliga mjölkproduktionen. Därav är det inte alltid mest lönsamt att maximera mjölkavkastningen. I linje med detta menar Santos et al. (2024) att låg reproduktiv hälsa och effektivitet har störst påverkan på mjölkproduktionens produktivitet och lönsamhet. När fertiliteten försämras uppstår betydande ekonomiska förluster på grund av en lägre andel lakterande kor i besättningen och därav minskad mjölkproduktion, ökad ofrivillig utslagning, oönskat längre kalvningsintervall och färre kalvar.

En miljömässig målkonflikt inom mjölkproduktionen kan uppstå mellan effektivitet och hållbarhet. Zehetmeier et al. (2012) undersökte om en högre mjölkavkastning leder till minskade utsläpp av växthusgaser. Resultaten visade att utsläppen per kilo mjölk minskar när avkastningen ökar. Exempelvis minskade utsläppen från 1,06 till 0,89 kg koldioxidekvivalenter per kilo mjölk när avkastningen steg från 6000 till 10 000 kg per ko och år. Minskningen beror på att färre kor krävs för att producera samma mängd mjölk. Högproducerande kor är alltså mer resurseffektiva sett till foderanvändning och utsläpp per kilo mjölk. Samtidigt medför en högre produktion ökade metabola påfrestningar, vilket ökar risken för NEB och därmed nedsatt fertilitet och tidigare utslagning. Om kor slås ut i förtid till följd av fertilitetsproblem minskar den totala livstidsproduktionen, vilket ur ett klimatperspektiv innebär att växthusgasutsläppen per kilo mjölk i praktiken ökar. Nedsatt fertilitet kan också leda till oönskat långa kalvningsintervall och att färre kalvar föds, vilket ger en mindre resurseffektiv och miljömässigt hållbar ko.

Även fertiliteten i sig har visat sig ha en tydlig påverkan på utsläppen från mjölkproduktionen. Garnsworthy (2004) genomförde en modellstudie i Storbritannien där tre fertilitetsscenarier jämfördes (A-C). Scenario A representerade de relativt låga fertilitetsnivåerna som var aktuella kring år 2000 i Storbritannien, scenario B motsvarade nivåerna från 1995, och scenario C beskrev en ideal fertilitet. Resultaten visade stora skillnader i antalet rekryteringsdjur som krävdes för att upprätthålla en stabil besättningsstorlek. Vid scenario A stod rekryteringsdjuren för upp till 27% av metanutsläppen och 15% av ammoniakutsläppen från besättningen. Om fertiliteten motsvarade scenario B minskade utsläppen med cirka 10-11% för metan och 9% för ammoniak, medan ideal fertilitet (scenario C) minskade utsläppen med upp till 24% respektive 17%. Sämre fertilitet medför ett ökat behov av rekryteringsdjur, längre kalvningsintervall och lägre genomsnittlig mjölkavkastning per ko – faktorer som sammantaget ökar produktionens klimatavtryck.

Utöver de ekonomiska och miljömässiga målkonflikterna kan det även finnas sociala och etiska motsättningar inom mjölkproduktionen, där hög avkastning ställs mot god djurvälstånd. Den moderna mjölkkon är avlad för mycket hög produktion, vilket som sagt innebär stora metabola krav och en ökad risk för NEB. Detta kan leda till reproduktionsstörningar, sjukdomar och förkortad livslängd. Ur ett djuretiskt perspektiv kan den intensiva produktionen därför ifrågasättas, om kon klarar av påfrestningarna i dagens produktion. Samtidigt är många producenter ekonomiskt pressade att upprätthålla en hög produktionsnivå, vilket kan bidra till att kortsiktiga produktionsmål prioriteras framför kornas långsiktiga hälsa och välbefinnande. Om korna inte är friska kommer de dock att producera mindre mjölk, därför är det lönsamt i längden att ha friska och fertila kor.

I en studie av Coignard et al. (2014) undersöktes om mjölkavkastning kunde användas som en tillförlitlig indikator på djurvälstånd. Resultaten visade att hög avkastning hade både positiva och negativa effekter. Högre mjölkavkastning var kopplad till ett bättre socialt klimat i besättningen med lägre nivåer av aggression och en mer positiv emotionell stämning, men också till sämre hälsa i form av ökad förekomst av sjukdomar och skador. Forskarna drog slutsatsen att mjölkavkastning inte kan användas som en tillförlitlig indikator på den totala djurvälstånden. Även Oltenacu & Broom (2010) menade att den intensiva mjölkproduktionen påverkar kornas välfärd negativt genom att den höga mjölkavkastningen leder till nedsatt fertilitet, ökad förekomst av ben- och klövskador, metabolisk stress och minskad livslängd. Det framgick även att högproducerade kor måste tillbringa mycket tid med att äta för att täcka sitt energibehov, vilket i sin tur minskar tiden för vila och återhämtning.

Sammantaget visar litteraturen att en hög mjölkavkastning och därav risken för försämrad fertilitet och ökad utslagning till följd av NEB inte bara har ekonomiska konsekvenser utan även påverkar miljömässig och social hållbarhet. Att bibehålla friska, fertila kor är därför avgörande för en långsiktigt hållbar mjölkproduktion.

4. Slutsats

NEB har en tydlig och omfattande inverkan på mjölkors reproduktionsförmåga. Det hormonella systemet påverkas på alla nivåer, detta omfattar hypotalamus, hypofysen och äggstockarna. Genom att hämma den hormonella regleringen i HPO-axeln försämras både LH-frisättning, östradiolproduktion, follikelutveckling och oocytkvalité. Detta medför en negativ inverkan på brunstcyklicitet, brunstvisning, ägglossning, befruktning och tidig embryoutveckling. En god reproduktiv hälsa är avgörande för att upprätthålla en hållbar, effektiv och lönsam mjölkproduktion.

Referenser

- Allaire, F.R. (1981). Economic Consequences of Replacing Cows with Genetically Improved Heifers^{1, 2}. *Journal of Dairy Science*, 64 (10), 1985–1995. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82801-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82801-9)
- Beam, S.W. & Butler, W.R. (1999). Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility. Supplement*, 54, 411–424. <https://doi.org/10.1530/biosciproc.4.032>
- Bisinotto, R.S., Greco, L.F., Ribeiro, E.S., Martinez, N., Lima, F.S., Staples, C.R., Thatcher, W.W. & Santos, J.E.P. (2012). Influences of nutrition and metabolism on fertility of dairy cows. *Animal Reproduction*, 9 (3), 260–272. <https://animal-reproduction.org/article/5b5a6057f7783717068b46e5>
- Bulman, D.C. & Lamming, G.E. (1978). Milk progesterone levels in relation to conception, repeat breeding and factors influencing acyclicity in dairy cows. 54 (2), 447–458. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0540447>
- Butler, S.T., Pelton, S.H. & Butler, W.R. (2004). Insulin increases 17 beta-estradiol production by the dominant follicle of the first postpartum follicle wave in dairy cows. *Reproduction (Cambridge, England)*, 127 (5), 537–545. <https://doi.org/10.1530/rep.1.00079>
- Butler, S.T., Pelton, S.H. & Butler, W.R. (2006). Energy Balance, Metabolic Status, and the First Postpartum Ovarian Follicle Wave in Cows Administered Propylene Glycol. *Journal of Dairy Science*, 89 (8), 2938–2951. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72566-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72566-8)
- Butler, S.T., Pelton, S.H., Knight, P.G. & Butler, W.R. (2008). Follicle-stimulating hormone isoforms and plasma concentrations of estradiol and inhibin A in dairy cows with ovulatory and non-ovulatory follicles during the first postpartum follicle wave. *Domestic Animal Endocrinology*, 35 (1), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2008.03.002>
- Butler, W.R. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*, 83 (2), 211–218. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00112-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00112-X)
- Cetica, P., Pintos, L., Dalvit, G. & Beconi, M. (2002). Activity of key enzymes involved in glucose and triglyceride catabolism during bovine oocyte maturation in vitro. *Reproduction*, 124 (5), 675–681. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1240675>
- Coignard, M., Guatteo, R., Veissier, I., Lehébel, A., Hoogveld, C., Mounier, L. & Bareille, N. (2014). Does milk yield reflect the level of welfare in dairy herds? *The Veterinary Journal*, 199 (1), 184–187. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.10.011>
- Diskin, M.G. (2011). Reproduction, Events and Management | Mating Management: Fertility. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 475–484. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00456-8>
- Fenwick, M.A., Llewellyn, S., Fitzpatrick, R., Kenny, D.A., Murphy, J.J., Patton, J. & Wathes, D.C. (2008). Negative energy balance in dairy cows is associated with specific changes in IGF-binding protein expression in the oviduct. *Reproduction*, 135 (1), 63–75. <https://doi.org/10.1530/REP-07-0243>
- Fricke, P.M. & Wiltbank, M.C. (1999). Effect of milk production on the incidence of double ovulation in dairy cows. *Theriogenology*, 52 (7), 1133–1143. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00205-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00205-8)
- Garnsworthy, P.C. (2004). The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Animal*

- Feed Science and Technology*, 112 (1), 211–223.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.10.011>
- Gomez-León, V.E., Ginther, O.J., Domingues, R.R., Guimarães, J.D. & Wiltbank, M.C. (2020). Necessity for LH in selection and continued growth of the bovine dominant follicle. *Reproduction*, 159 (5), 559–569.
<https://doi.org/10.1530/REP-19-0342>
- Grummer, R.R. (2007). Strategies to improve fertility of high yielding dairy farms: Management of the dry period. *Theriogenology*, 68 (1), 281–288.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.031>
- Guis, H., Caminade, C., Calvete, C., Morse, A.P., Tran, A. & Baylis, M. (2011). Modelling the effects of past and future climate on the risk of bluetongue emergence in Europe. *J. R. Soc. Interface*, 9, 339–350.
<https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0255>
- Hileman, S.M., Lubbers, L.S., Jansen, H.T. & Lehman, M.N. (1999). Changes in Hypothalamic Estrogen Receptor-Containing Cell Numbers in Response to Feed Restriction in the Female Lamb. *Neuroendocrinology*, 69 (6), 430–437. <https://doi.org/10.1159/000054446>
- Iwata, H., Inoue, J., Kimura, K., Kuge, T., Kuwayama, T. & Monji, Y. (2006). Comparison between the characteristics of follicular fluid and the developmental competence of bovine oocytes. *Animal Reproduction Science*, 91 (3), 215–223.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.04.006>
- Kadokawa, H. & Martin, G.B. (2006). A New Perspective on Management of Reproduction in Dairy Cows: the Need for Detailed Metabolic Information, an Improved Selection Index and Extended Lactation. *Journal of Reproduction and Development*, 52 (1), 161–168.
<https://doi.org/10.1262/jrd.17088>
- Leroy, J., Vanholder, T., Opsomer, G., Van Soom, A. & de Kruif, A. (2006). The In Vitro Development of Bovine Oocytes after Maturation in Glucose and β -Hydroxybutyrate Concentrations Associated with Negative Energy Balance in Dairy Cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 41 (2), 119–123. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2006.00650.x>
- Leroy, J.L.M.R., Vanholder, T., Delanghe, J.R., Opsomer, G., Van Soom, A., Bols, P.E.J., Dewulf, J. & De Kruif, A. (2004). Metabolic changes in follicular fluid of the dominant follicle in high-yielding dairy cows early post partum. *Theriogenology*, 62 (6), 1131–1143.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.12.017>
- Leroy, J.L.M.R., Vanholder, T., Mateusen, B., Christophe, A., Opsomer, G., Kruif, A. de, Genicot, G. & Soom, A.V. (2005). Non-esterified fatty acids in follicular fluid of dairy cows and their effect on developmental capacity of bovine oocytes in vitro. *Reproduction*, 130 (4), 485–495.
<https://doi.org/10.1530/rep.1.00735>
- Lucy, M.C., Jiang, H. & Kobayashi, Y. (2001). Changes in the Somatotrophic Axis Associated with the Initiation of Lactation. *Journal of Dairy Science*, 84, 113–119. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)70205-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)70205-6)
- Mann, G.E. & Lamming, G.E. (2001). Relationship between maternal endocrine environment, early embryo development and inhibition of the luteolytic mechanism in cows. *Reproduction*, 121 (1), 175–180.
<https://doi.org/10.1530/rep.0.1210175>
- Monteiro, P.L.J., Gonzales, B., Drum, J.N., Santos, J.E.P., Wiltbank, M.C. & Sartori, R. (2021). Prevalence and risk factors related to anovular phenotypes in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104 (2), 2369–2383.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-18828>

- NADIS (2015). *What does poor fertility cost*. <https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/fertility-in-dairy-herds-advanced/part-1-what-does-poor-fertility-cost/> [2025-04-10]
- Nigussie, T. (2018). A Review on the Role of Energy Balance on Reproduction of Dairy Cow. *Journal of Dairy Research and Technology*, 1 (1), 1–9. <https://doi.org/10.24966/DRT-9315/100003>
- Oltencu, P. & Broom, D. (2010). The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*, 19 (S1), 39–49. <https://doi.org/10.1017/S0962728600002220>
- Rasool, G., Lone, F.A. & Khatun, A. (2022). Role of Leptin in Onset of Puberty in Cattle. *International Journal of Livestock Research*, 12 (10), 11–20. https://ijlr.org/ojs_journal/index.php/ijlr/article/view/73
- Rhoads, M.L., Rhoads, R.P., VanBaale, M.J., Collier, R.J., Sanders, S.R., Weber, W.J., Crooker, B.A. & Baumgard, L.H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin1. *Journal of Dairy Science*, 92 (5), 1986–1997. <https://doi.org/doi:10.3168/jds.2009-2469>
- Sammad, A., Umer, S., Shi, R., Zhu, H., Zhao, X. & Wang, Y. (2020). Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, (104), 978–986. <https://doi.org/10.1111/jpn.13257>
- Sangsrivong, S., Combs, D.K., Sartori, R., Armentano, L.E. & Wiltbank, M.C. (2002). High Feed Intake Increases Liver Blood Flow and Metabolism of Progesterone and Estradiol-17 β in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 85 (11), 2831–2842. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74370-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74370-1)
- Santos, J.B., de Freitas, B.W., Obando, I.A.M., de Oliveira, N.D., Penitente-Filho, J.M., Moreira, M.V.C., Lobato, A.N. & Guimarães, J.D. (2024). Reproductive traits and economic aspects on dairy cattle. *Animal Reproduction*, 22 (1), e20240050. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0050>
- Sjaastad, Ø., Sand, O. & Hove, K. (2016). *Physiology of Domestic Animals*. Third edition. Scandinavian Veterinary Press.
- Spicer, L.J., Tucker, W.B. & Adams, G.D. (1990). Insulin-Like Growth Factor-I in Dairy Cows: Relationships Among Energy Balance, Body Condition, Ovarian Activity, and Estrous Behavior1. *Journal of Dairy Science*, 73 (4), 929–937. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78749-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78749-8)
- Van Hoeck, V., Sturmey, R.G., Bermejo-Alvarez, P., Rizos, D., Gutierrez-Adan, A., Leese, H.J., Bols, P.E.J. & Leroy, J.L.M.R. (2011). Elevated Non-Esterified Fatty Acid Concentrations during Bovine Oocyte Maturation Compromise Early Embryo Physiology. *PLoS ONE*, 6 (8), e23183. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023183>
- Växa (2023). *Kalvningsintervall*. <https://www.vxa.se/fakta/styrning-och-rutiner/hallbara-atgarder/avel/kalvningsintervall/> [2025-04-02]
- Växa (2025). *Husdjursstatistik*. <https://vxa.qbank.se/mb/?h=c7a1d64e698d8df91094699ba3ffd110&p=dda36951e6721097a93eae5c593859&display=feature&s=name&d=desc> [2025-04-10]
- Wathes, D.C., Fenwick, M., Cheng, Z., Bourne, N., Llewellyn, S., Morris, D.G., Kenny, D., Murphy, J. & Fitzpatrick, R. (2007). Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology*, 68 (1), S232–S241. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.006>
- Whitlock, B.K., Daniel, J.A., Wilborn, R.R., Maxwell, H.S., Steele, B.P. & Sartin, J.L. (2008). The effects of lactation and negative energy balance on kisspeptin- stimulated luteinizing hormone and growth hormone in dairy

cows. *Animal Science Publications and Other Works*,
https://trace.tennessee.edu/utk_animpubs/5/
Zehetmeier, M., Baudracco, J., Hoffmann, H. & Heißenhuber, A. (2012). Does
increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system
approach. *Animal*, 6 (1), 154–166.
<https://doi.org/10.1017/S1751731111001467>

Populärvetenskaplig sammanfattning

För att mjölkproduktionen ska vara både hållbar och effektiv krävs att korna har en god fertilitet. Låg fertilitet innebär ökade kostnader för lantbrukaren genom både arbetsinsatser, såsom fler inseminationer och veterinärbesök, och minskad produktion i form av ett oönskat längre kalvningsintervall och färre kalvar. Under de senaste 50 åren har mjölkavkastningen per ko fördubblats. När en ko producerar stora mängder mjölk krävs mycket energi, som kon får från fodret. I vissa fall räcker dock inte foderintaget till för att täcka hela energibehovet, vilket leder till ett tillstånd som kallas negativ energibalans (NEB). Syftet med denna litteraturstudie var att sammanställa aktuell forskning om hur NEB påverkar mjölkornas fertilitet och hormonella reglering. Flertalet studier visar tydligt att NEB försämrar fertiliteten genom att störa den hormonella balansen samt försämra både follikelutvecklingen och äggcellernas kvalitet. Detta kan leda till nedsatt brunst, utebliven ägglossning, försämrad befruktning och ökad risk för tidiga embryonala förluster. Sammantaget visar resultaten att den ökade mjölkavkastningen bidragit till att göra det svårare att upprätthålla god fertilitet hos mjölkkor, vilket understryker vikten av anpassad utfodring och skötsel för en hållbar mjölkproduktion.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

JA, jag, Elin Nilsson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

NEJ, jag, Elin Nilsson ger inte min tillåtelse till att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.