



# **Effekter av högt kaliumintag på magnesiumbalansen hos mjölkcor**

Effects of high potassium intake on the  
magnesium balance in dairy cows

**av**

**Cecilia Kronqvist  
&  
Elin Briland**

---

**Institutionen för husdjurens  
utfodring och vård**

**Examensarbete 226**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Animal Nutrition and Management**

---

**Uppsala 2006**



# **Effekter av högt kaliumintag på magnesiumbalansen hos mjölkkor**

Effects of high potassium intake on the  
magnesium balance in dairy cows

**av**

**Cecilia Kronqvist  
&  
Elin Briland**

**Handledare: Kjell Holtenius**

---

**Institutionen för husdjurens  
utfodring och vård**

**Examensarbete 226**

**Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Animal Nutrition and Management**

**Uppsala 2006**

---

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|  |           |
|--|-----------|
| INNEHÅLLSFÖRTECKNING   | 3         |
| ABSTRACT   | 4         |
| INLEDNING  | 5         |
| LITTERATURBAKGRUND   | 6         |
| <b>Magnesiums roll</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Upptag av magnesium</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Utfodringsrekommendationer</b>                                    | <b>8</b>  |
| <b>Magnesium i foder</b>   | <b>8</b>  |
| <b>Magnesiumbalansstudier</b>  | <b>9</b>  |
| FÖRSÖKET   | 11        |
| <b>Material och metoder</b>  | <b>11</b> |
| <i>Djur och utfodring</i>  | <i>11</i> |
| <i>Behandling</i>  | <i>11</i> |
| <i>Försöksperiod</i>   | <i>12</i> |
| <i>Provtagning</i>   | <i>12</i> |
| <i>Analyser</i>  | <i>13</i> |
| <i>Statistiska analyser</i>  | <i>13</i> |
| <b>Resultat</b>  | <b>14</b> |
| <i>Kroppsvikt och foderintag</i>                                     | <i>14</i> |
| <i>Magnesiumbalans och smältbarhet</i>                               | <i>15</i> |
| <i>Magnesiumkoncentrationer, pH-värden, träckpoäng och mjölmängd</i> | <i>15</i> |
| <b>Diskussion</b>  | <b>18</b> |
| <b>Slutsats</b>  | <b>24</b> |
| SAMMANFATTNING   | 25        |
| LITTERATURFÖRTECKNING  | 26        |

## ABSTRACT

Magnesium is one of the most important minerals in the body and it participates in many essential processes, such as energy metabolism and protein synthesis. Magnesium deficiency in cattle may occur when they are let out for pasture in the spring, and is associated with tetany, known as grass staggers. A high yielding dairy cow often loses more magnesium daily in the milk than she has available in the body, and magnesium thereby needs to be provided in the feed to prevent the cow from being affected by deficiency symptoms.

The uptake of magnesium is mainly located to the rumen and is not regulated by hormones. The surplus is excreted in the urine by the kidneys. The digestibility of magnesium in common feedstuff is about 20%. Many studies, mainly on dry cows or sheep, have shown that the absorption of magnesium in the rumen is negatively affected by the presence of potassium ions. To compensate the lower uptake, extra magnesium can be supplied when the potassium content in the diet is high.

The purpose of this study was to investigate how the magnesium balance in lactating cows was affected by increasing levels of potassium in the diet, and to determine in which level of potassium extra magnesium needed to be provided. The hypothesis was that the cows would absorb less magnesium when fed diets with increasing potassium concentration, and that this would be compensated for by increasing levels of magnesium.

Six lactating cows were fed two levels of magnesium (1,9 and 3,7 g/kg DM) and three levels of potassium (19, 28 and 37 g/kg DM) during six experimental periods in a Latin square design. Spot samples of feces, urine and milk were analyzed for magnesium to be able to calculate the magnesium balance. Samples of the blood and the rumen fluid were also taken. The pH was measured in the urine and the rumen fluid, and the consistency of the feces was estimated. Creatinine in the urine and acid insoluble ash in the faeces were used as markers to calculate the daily amount of urine and faeces produced.

The results showed that the cows excreted more magnesium in the urine when they were given extra magnesium in their diets. This indicates that they absorbed more magnesium from the rumen. The concentration of magnesium in the rumen fluid and in the plasma was higher when the cows were fed increased levels of magnesium. The concentration of magnesium in milk was not affected by treatment. The absorption, calculated as the proportion of the intake that was excreted in urine and milk, was lower when the diets were supplied with extra magnesium, 12,1 % vs 16,4 %. The feces had a more soft consistency when the magnesium intake was higher. The level of potassium had no influence on the magnesium balance, but had an impact on the rumen and urine pH. The calculated absorption of magnesium was lower than what has been showed by earlier studies.

The lack of effect of increased potassium concentration can be due to the chosen levels of magnesium and potassium in the experimental diets. Another reason could be the differences between lactating cows and dry cows or sheep.

## INLEDNING

Magnesium räknas till makromineralerna och finns till stor del i skelettet. I form av  $Mg^{2+}$  är det den fjärde vanligaste positiva jonen i kroppen och den näst vanligaste extracellulära jonen. Magnesium i form av magnesiumoxid kan användas som buffert i foderstater till mjölkkor för att höja fetthalten, och ett tillskott av magnesium till kor som redan har de grundläggande magnesiumbehoven uppfyllda har visat sig öka mjölkproduktionen (O'Connor *et al*, 1988). Då magnesium är en jon som är involverad i många livsviktiga processer är det viktigt att cellerna har tillgång till den i rätt mängd. Det är sedan länge känt att brist på magnesium kan ge upphov till s.k. beteskramp, ett livshotande tillstånd som kan drabba kor som kommer från stallutfodring ut på spätt vårbete. Kon saliverar, blir nervös och får kramper som om inte behandling sätts in kan leda till döden (Martens & Schweigel, 2000). En orsak till detta kan vara en låg magnesiumhalt i cerebrospinalvätskan som i sin tur leder till störningar i nerverna. Vid låga magnesiumhalter kan kramper utlösas av yttre stress, till exempel vid oväder. Magnesiumbrist med krampsymtom kan uppkomma även under stallperioden och kallas då stallkramp.

Magnesiumupptaget hos kor sker i huvudsak i våmmen och hämmas av kaliumjoner. Vallfodret, som är en viktig del i mjölkfoderstater, innehåller mycket kalium naturligt och för att maximera växtproduktionen tillförs ofta en del kalium till vallarna via gödseln. Stallgödsel innehåller ofta stora mängder kalium, och på mjölkgårdar med liten annan mark för växtproduktion blir det ofta mycket kalium som läggs ut på vallarna. Risken för stallkramper gör att man idag ofta tillför extra magnesium till mjölkorna, framför allt om grovfodret har visat sig ha höga nivåer av kalium. En amerikansk studie visade att 18 g extra magnesium behövde tillsättas för varje procentenhet kalium som överstiger 1 % av ts i foderstaten för att uppnå samma mängd absorberbart magnesium (Weiss, 1994). Inga svenska rekommendationer för vid vilken kaliumnivå extra magnesium ska tillföras till mjölkande kor finns, och inte heller några rekommendationer för hur mycket magnesium som ska tillföras för att kompensera en kaliumrik foderstat.

Syftet med detta försök var att se hur magnesiumbalansen hos mjölkande kor påverkas av ökade nivåer av kalium i foderstaten och att komma fram till vid vilken nivå av kalium extra magnesium kan behöva tillsättas för att kompensera för ett minskat upptag i våmmen. Hypotesen var att korna vid ett ökat intag av kalium skulle absorbera en mindre mängd magnesium, men att detta skulle kunna kompenseras genom att utfodra extra magnesiumtillskott.

# LITTERATURBAKGRUND

## Magnesiums roll

Magnesium är ett livsviktigt mineral för många levande organismer och krävs bland annat för aktivering av ett flertal enzymer, till exempel kinaser och ATP:aser. Magnesium spelar därigenom stor roll i energimetabolismen. Magnesium är också delaktig i många biologiska processer som syntes av RNA, DNA och protein, och medverkar också i nervsystemet (Martens & Schweigel, 2000). Den största mängden magnesium i nötkreatur finns bundet i benvävnaden, ca 170 g för en 500 kg ko (NRC, 2001). Detta magnesium är dock svårt att utnyttja vid magnesiumbrist eftersom det endast frigörs vid nedbrytning av benvävnad, som initieras hormonellt enbart vid brist på kalcium eller fosfor. Kroppen har mycket små reserver av tillgängligt magnesium, och dessa består framför allt av magnesium i den extracellulära vätskan, ca 2,5 g (Martens & Schweigel, 2000). Då mjölk vanligtvis innehåller 0,12-0,15 g Mg/kg (NRC, 2001) skulle dessa reserver förbrukas helt vid en produktion av totalt ca 20 kg mjölk, en mängd som många svenska mjölkkor avsevärt överskrider. Magnesium behöver därför kontinuerligt tillföras via fodret för att magnesiumbalansen hos den mjölkande kon ska upprätthållas.

Magnesiumhalten i blodplasman hos idisslare har i flera studier inte visat sig påverkas så mycket av magnesiumintaget (Jittakhot *et al*, 2004a; Shoneville *et al*, 1997; Ram *et al*, 1998) så länge intaget håller sig inom rimliga gränser. Andra studier har dock kunnat påvisa variationer i magnesiumhalten beroende på hur mycket magnesium korna absorberar. Jittakhot m.fl. (2004b) kunde hos sinkor påvisa en positiv korrelation mellan den skenbara smältbarheten av magnesium och koncentrationen i blodplasman, och Fisher m.fl. (1994) visade i ett försök med lakterande kor att magnesiumhalten i plasman var lägre då foderstaterna innehöll mycket kalium. Koncentrationen av magnesium i blodplasman hos kor ligger normalt mellan 0,8- 1,2 mM (Fisher *et al*, 1994; Jittakhot *et al*, 2004b; Martens & Schweigel, 2000; Jittakhot *et al*, 2004a). Värdet lägre än 0,7 mM är förknippade med hypomagnesemi (Martens & Schweigel, 2000).

## Upptag av magnesium

Idisslars magnesiumupptag sker framför allt i våmmen (Greene *et al*, 1983). Ett minskat upptag i våmmen kan hos kor inte kompenseras av upptag i senare delar av matsmältningssystemet, även om ett visst upptag av magnesium sker även i tunntarmen. Magnesiumupptaget i våmmen sker via två mekanismer, antingen genom våmepitelcellerna med hjälp av aktiv transport eller mellan dem via passiv transport (Martens & Schweigel, 2000). Den passiva transporten sker via ett flöde av magnesium från våmvätskan till blodet genom diffusion då blodet i de flesta fall har lägre koncentration av magnesium än våmvätskan. Denna transport är till stor del motverkad av den elektriska gradienten över våmväggen, eftersom blodsidan är mer positivt laddad än lumensidan. Passiv transport spelar störst roll för magnesiumabsorptionen i de fall då koncentrationen av magnesium i fodret och därmed i våmvätskan är hög, eftersom skillnaden i koncentration då är störst. Den passiva transporten spelar en mindre roll för magnesiumupptaget. Den huvudsakliga transporten av magnesium sker via aktiv transport. Vid den aktiva transporten passerar magnesiumjonerna genom våmepitelcellerna via transportproteiner, troligtvis med hjälp av ett utbyte med vätejoner och natriumjoner eller via samtransport med anjoner. Den aktiva transporten är

beroende av koncentrationen av löst magnesium i våmmen och membranpotentialen över våmepitelets cellmembran (Jittakhot *et al*, 2004c).

Många studier har visat att kalium har en negativ påverkan på upptaget av magnesium från våmmen där den främsta delen av magnesiumupptaget sker (Jitthakot *et al*, 2004a; Weiss, 2004). Höga halter av kaliumjoner i våmmen sänker den apikala membranpotentialen, och därmed försämras den aktiva transporten av magnesium från våmmen till blodet. Den negativa påverkan kalium har på magnesiumupptaget är alltså störst då fodret har lågt innehåll av magnesium, eftersom den aktiva transporten då spelar en relativt sett större roll för magnesiumupptaget. Den negativa effekten av kalium har visat sig inte vara direkt proportionell mot kaliumnivåerna i fodret. Vid höga kaliumnivåer påverkas inte magnesiumupptaget lika mycket av en ytterligare ökning av kaliumhalten som vid lägre kaliumnivåer, och ett *in vitro*-försök visade att ingen ytterligare sänkning av magnesiumabsorptionen skedde vid kaliumkoncentrationer i våmmen från 80mM och uppåt (Jittakhot *et al*, 2004c). *In vivo*-försök har dock visat på ytterligare sänkning av magnesiumabsorptionen vid högre kaliumkoncentrationer (Jittakhot *et al*, 2004a).

Weiss (2004) visade i en sammanställning över försök gjorda på mjölkande kor att kalium påverkade magnesiumabsorptionen negativt i den utsträckningen att magnesiumgivan behövde ökas med 18,3 g/dag för varje procentenhet kalium i fodret som översteg 1 % (ts-basis) för att upprätthålla samma intag av absorberbart magnesium. Studier har visat att olika kaliumkällor har olika stor negativ påverkan på magnesiumupptaget, men att en kaliumkälla i form av kaliumbikarbonat har samma hämmande effekt på upptaget av magnesium som gräs med höga halter av kalium (Shoneville *et al*, 1999).

Magnesiumabsorptionen både via aktiv och via passiv transport är beroende av lösligheten av magnesium i våmmen. Lösligheten minskar drastiskt när pH-värdet stiger över 6,5 (NRC, 2001), eftersom magnesium då lätt bildar svårösliga föreningar. Shoneville m.fl. (1997) visade att getter som utfodrades med stärkelse istället för cellulosa i foderstaten hade lika hög magnesiumabsorption vid 78 g K/kg ts som vid 340 g K/kg ts, vilket kan förklaras med stärkelsens förmåga att sänka pH-värdet i våmmen. Även höga råproteinhalter i fodret kan påverka magnesiumabsorptionen i våmmen negativt då ammoniumjoner frigörs i våmmen vid fermenteringen. Gäbel & Martens (1986) visade i ett försök med får att magnesiumutsöndringen i urinen, som speglar mängden absorberat magnesium, minskade kraftigt då ammoniumhalten i våmmen inom ett dygn ökades till det tiodubbla. Mg-utsöndringen återgick dock till ursprungsvärdena efter tre dygn av förhöjda ammoniumkoncentrationer, vilket tyder på att en anpassning sker. Ytterligare en faktor som kan leda till ett försämrat upptag av magnesium är natriumbrist, då kroppen vid brist på natrium ökar mängden av det natriumsparende hormonet aldosteron i blodet, något som bl.a. leder till att kaliumhalterna i saliven ökar och natriumhalterna sjunker (Martens & Schweigel, 2000). Detta medför en ökad koncentration av kalium i våmmen, och därmed försämrad magnesiumabsorption.

Då absorptionen av magnesium inte kan regleras hormonellt påverkas det totala upptaget i stor utsträckning av magnesiumintaget. Jittakhot m.fl (2004b) kunde i en studie utförd på svin visa att ett ökat intag av magnesium (från 27,1 g/dag upp till 124,3 g/dag) medförde en ökad mängd skenbart absorberat magnesium. Andelen absorberat magnesium av det totala intaget var lägre för de kor som hade lägst magnesiumintag, men visade inga signifikanta skillnader vid högre intag än 64 g magnesium/dag.

## Utfodringsrekommendationer

I Sverige är rekommendationerna för magnesiumkoncentrationen till mjölkande kor 2-2,5 g Mg/kg ts i totalfoderstaten (Spörndly, 2003). Den högre siffran gäller kor som mjölkar mer än 35 kg/dag. Enligt NRC (2001) är motsvarande värden 1,8-2,9 g Mg/kg ts, med högre värden för högproducerande kor och de högsta värdena för nykalvade kor. NRC rekommenderar även en höjning av magnesiumhalten i fodret till 3-3,5 g/kg ts om foderstaten i övrigt innehåller höga mängder kalium eller icke-proteinkväve. Överutfodring med magnesium kan leda till diarré och dessutom medföra sämre aptit eftersom de flesta magnesiumtillskotten inte är så smakliga. Chester- Jones m.fl. (1990) utförde ett försök där stutar under 130 dagar utfodrades med höga nivåer av magnesium i form av magnesiumoxid, upp till 47 g Mg/kg ts. Förutom kraftig diarré och nedsatt aptit fick stutarna vid de högsta magnesiumgivorna förändringar på papillerna i våmmen och en störd total mineralbalans. Enligt svenska rekommendationer bör magnesiumkoncentrationen i totalfoderstaten inte överstiga 5 g/kg ts (Spörndly, 2003). NRC (2001) rekommenderar en maximal koncentration på 4 g Mg/kg ts. Denna rekommendation är baserad på försök där ingen negativ påverkan på korna kunnat påvisas vid Mg-koncentrationer i foderstaten på 3,9 g Mg/kg ts, även om de hänvisar till studier där mjölkkor har fått upp till 6,1 g Mg/kg ts i form av magnesiumoxid för att öka fetthalten i mjölken utan att andra negativa effekter än tillfälliga diarréer har kunnat ses.

Ett överskott av absorberat magnesium filtreras effektivt av njurarna och utsöndras nästan uteslutande i urinen. Ett flertal studier har kunnat visa starka samband mellan magnesiumintaget och utsöndringen via urin (Jittakhot *et al*, 2004a; Shoneville *et al*, 1997). Den effektiva utsöndringen av ett eventuellt magnesiumöverskott leder till att risken för magnesiumförgiftning hos kor är låg även vid stora magnesiumintag, speciellt om det är en tillfällig överutfodring. Dock har studier visat att en långvarig utfodring med stora överskott av magnesium (upp till tio gånger rekommenderade maximigivan) kan ge förgiftningssymptom (Chester-Jones *et al*, 1990). Så höga magnesiumnivåer kommer man dock knappast upp i vid praktisk utfodring. Det har visats att magnesiumbalansen är uppnådd när kon utsöndrar ca 2,5 g Mg/dag i urinen (Martens & Schweigel, 2000). Det innebär att kon är i jämvikt och absorberar samma mängd som hon behöver för till exempel mjölkproduktion och fostertillväxt. Lägre magnesiumhalter i urinen än så tyder på att kon är i negativ magnesiumbalans medan högre värden tyder på att kon absorberar mer magnesium än hon behöver.

## Magnesium i foder

Mjölkkor får magnesium via grovfodret, kraftfodret och mineralfoder. Absorberbarheten för magnesium varierar mycket mellan olika källor, men koefficienten i vanliga fodermedelsråvaror beräknas enligt NRC (2001) ligga i genomsnitt på 16 %, ett värde som är framtaget med en viss säkerhetsmarginal. Grovfoder som ofta har högt innehåll av kalium har mer svårtillgängligt magnesium än kraftfoder som innehåller större mängder stärkelse som kan sänka pH-värdet i våmmen och därmed öka lösligheten för magnesium. Den vanligaste oorganiska formen av magnesium i kommersiella kraftfoder- och mineralfoderblandningar är magnesiumoxid (MgO) som framställs genom upphettning av magnesiumkarbonat. Absorptionen av magnesium i form av magnesiumoxid ligger runt 20 –30 %, men är mycket varierande och beroende av bland annat lösligheten i våmmen. Lösligheten kan påverkas av



olika faktorer som till exempel temperaturen vid tillverkningen och storleken på partiklarna (Jesse *et al*, 1981).

Kaliumhalten i grovfoder är en faktor som har betydelse inte bara för utfodringen utan också för själva växtproduktionen, eftersom kaliumgödsling påverkar avkastningen. Kaliumtillförsel har visat sig ge en linjär ökning av tillväxten hos vallarna som avtar vid K-koncentrationer på ca 3 % av ts i fodret (Martens & Schweigel, 2003). Samtidigt som den genomsnittliga storleken på mjölkobesättningar ökar i Sverige ökar även andelen besättningar som enbart producerar eget vallfoder och köper in allt kraftfoder. Den producerade stallgödseln, ofta lagrad som flytgödsel, sprids då enbart på vallarna. Stallgödsel är rikt på kalium, och flytgödseltillförsel på vallarna ökar kaliumkoncentrationen både i jorden och i vallfodret, eftersom kalium kan tas upp och lagras i överskott i växten även när behovet av kalium är täckt (Soder & Stout, 2003). Höga kaliumhalter i marken försämrar även växternas upptag av magnesium, vilket leder till att höga kaliumgivor till vallar innebär en risk för både sänkt magnesiumintag och försämrad magnesiumabsorption hos de kor som utfodras med sådant vallfoder.

### **Magnesiumbalansstudier**

Ett antal studier har gjorts av magnesiumbalansen hos kor. Jittakhot m.fl. (2004a) använde sig av totaluppsamling av träck och urin för att bestämma magnesiumbalansen hos sinkor utfodrade med 40 respektive 70 g magnesium/dag och med kaliumkoncentrationer på 20,5; 48,2 eller 75,5 g/kg ts i foderstaten. Den studien kunde påvisa mer positiva magnesiumbalanser då korna absorberat mer magnesium. De kunde även påvisa en tydligt hämmande effekt av kalium på mängden absorberat magnesium, både vid den låga och vid den höga nivån av magnesiumintag. En annan studie utförd på får, även den med hjälp av totaluppsamling av träck och urin, visade liknande hämmande effekter av ökat kaliumintag på absorptionen av magnesium och därigenom negativa effekter av kaliumnivån på den totala magnesiumstatusen (Ram *et al*, 1998).

Att använda totaluppsamling ger noggranna bestämningar av hur mycket magnesium som utsöndras i träcken respektive i urinen, men metoden är tidskrävande och svår att genomföra. För att uppnå bra resultat utan att behöva använda totaluppsamling av träck kan olika former av markörer användas för att räkna ut den totala mängden träck. Då krävs bara ett prov av träcken i vilket halten av magnesium och koncentrationen av markören bestäms för att kunna beräkna den totala utsöndringen av magnesium i träcken. Samma princip kan användas för att skatta mängden magnesium utsöndrad i urin. Markörerna kan vara tillförda ämnen i till exempel fodret eller bestå av kroppsegna substanser. Det är viktigt att de ger tillförlitliga resultat samt att de är lätta att analysera.

Saltsyraolöslig aska är en osmältbar fraktion i fodermedel som passerar genom kon utan att tas upp i mag-tarmkanalen. Detta gör att den kan användas som markör i träcken för att avgöra hur mycket träck en ko producerar totalt, och ger resultat som stämmer väl överens med dem som uppnås vid en totaluppsamling (Sunvold & Cochran, 1991). All den saltsyraolösliga askan i träcken kommer antingen från fodret eller från jord- och sandpartiklar korna fått i sig, till exempel ute på bete. Att använda sig av saltsyraolöslig aska som markör i träcken ger därför mer tillförlitliga resultat vid försök där korna stått på stall utan tillgång till sand eller jord, än vid betesförsök.

Som en markör i urinen kan kreatinin användas. Kreatinin är en restprodukt av energimetabolismen i musklerna och produceras i muskelvävnader vid nedbrytning av kreatinfosfat. Koncentrationen av kreatinin i blodplasman hos kor är relativt konstant liksom njurarnas utsöndringshastighet (Deetz *et al*, 1982). Detta leder till att kreatinin utsöndras i urinen med i stort sett kontinuerlig hastighet i en mängd som är proportionerlig mot kroppsvikten. Kreatinin kan därför användas som en markör i urinen för att beräkna den totala urinutsöndringen i stället för att använda totaluppsamling. En studie utförd på mjölkande kor visade en utsöndringshastighet i urinen av ca 29 mg kreatinin/kg kroppsvikt och dag (Valadares *et al*, 1999).

För att bestämma magnesiumkoncentrationen i till exempel urin och blodplasma används i många studier atomabsorbtiions-spektrofotometri (Jittakhot *et al*, 2004a, b). Den metoden bygger på det faktum att fria atomer av ett visst ämne absorberar ljus vid en specifik våglängd, och med hjälp av detta kan koncentrationen av olika atomer mätas. En annan vanlig metod att mäta magnesiumkoncentrationer med är att använda ett reagens i form av Xylidyl-blått, som reagerar tillsammans med magnesiumjoner vilket leder till en färgförändring (Stone *et al*, 1996). Magnesiumnivåerna i provet kan sedan bestämmas med hjälp av spektrofotometer.

# FÖRSÖKET

## Material och metoder

Försöket utfördes under tolv veckor hösten 2005 på Kungsängen gård i Uppsala. Försöket var godkänt av en djurförsöksetisk nämnd. Det var upplagt som ett change over-försök i en romersk kvadrat med 6 perioder och 2x3 faktorer, motsvarande två nivåer av magnesium och tre nivåer av kalium, se figur 1.

| Behandlingar |         |   | period |   |   |   |   |   |
|--------------|---------|---|--------|---|---|---|---|---|
|              |         |   | ko     | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Låg Mg       | Låg K   | 1 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|              | Medel K | 2 | 2      | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 |
| Hög Mg       | Hög K   | 3 | 3      | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 |
|              | Låg K   | 4 | 6      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|              | Medel K | 5 | 4      | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 |
|              | Hög K   | 6 | 5      | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 |

Figur 1. De sex olika behandlingarna samt behandlingsordning för varje ko.

### *Djur och utfodring*

I försöket ingick sex stycken lakterande SRB-kor i laktationsmånad sex eller senare. Korna var andrakalvare och äldre, i medeltal i laktation tre. Kornas genomsnittliga mjölk mängd var före försökets början ca 28 kg ECM/dag. Ingen av korna var dräktig. Innan försökets början utfodrades alla korna med ensilage och färdigfoder enligt behov samt mineralfoder. Korna hölls under hela försöket uppbundna i kortbås med en blandning av hackad halm och spån som strö ovanpå en gummimatta. Korna mjölkades två gånger per dag. Alla kor hade under hela försöksperioden fri tillgång till vatten i vattenkoppar och salt (NaCl) i form av slickstenar. Korna utfodrades med en foderstat med fasta proportioner bestående av ca 60 % grovfoder (ts-basis) i form av ensilage från tornsilo med en ungefärlig ts-halt på 40 %, och resten kraftfoder i form av ca 53 % krossad korn och 47 % koncentrat. Fodergivan justerades efter varje försöksperiod enligt näringsbehovsrekommendationer ur Fodertabeller för idisslare (Spörndly, 2003) baserat på kornas medelavkastning i liter mjölk de fyra första dagarna under provperioden. Näringsinnehållet i ensilaget analyserades före försöket (per kg ts: 11,1 MJ OE, 158 g rp, 1,3 g Mg, 25 g K), medan tabellvärden användes för näringsinnehållet i korn (Spörndly, 2003). För näringsvärden i koncentratet användes tillverkarens uppgifter (Lantmännen, 2004). I grundfoderstaten var koncentrationen av magnesium ca 2 g/kg ts och av kalium ca 18 g/kg ts. Utfodring skedde med hjälp av automatiska fodervagnar med inbyggd våg fyra gånger per dag (omkring klockan 06, 09, 12 och 17) med först ensilage och sedan kraftfoder i avgränsade krubbor.

### *Behandling*

Korna lottades till de sex behandlingsordningarna som bestod av sex behandlingar med tre nivåer av kalium motsvarande 0, 10 och 20 g K/kg ts extra för att totalt uppnå 18, 28 och 38 g K/kg ts i totalfoderstaten, kombinerat med två magnesiumnivåer motsvarande 0 och 2,5 g Mg/kg ts extra, för att totalt uppnå 2 respektive 4,5 g Mg/kg ts i totalfoderstaten.

Behandlingsordningen var upplagd så att eventuella effekter av föregående behandling inte skulle påverka slutresultatet. Mineralerna tillfördes i form av kaliumbikarbonat,  $\text{KHCO}_3$  (Univar) respektive ett mineraltillskottsfoder med 55 % finmald magnesiumoxid blandat med fosforsyra och vakuumsalt (Lactamin, 2005) och blandades tillsammans med omkring 50 g foderkalk med ensilaget i kornas krubbor vid två utfodringstillfällen per dag, oftast kl. 9 och 17. Under den sista försöksperioden tillfördes magnesium till foderstaterna i form av ren, finmalen magnesiumoxid för kemiskt bruk istället för magnesiumtillskottsfodret.

### *Försöksperiod*

Varje försöksperiod varade i 14 dagar och var uppdelad i 9 dagars förperiod och 5 dagars provperiod. Första försöksperioden var förperioden endast 5 dagar lång. Mjölmängd mättes och mjölkprov togs ut morgon och kväll dag 10-14. Träckprov togs morgon och eftermiddag dag 10-14. Urinprov togs dag 10-14. Blodprover togs på morgonen dag 11 och 13. Våmvätskeprov med svalgsond togs på förmiddagen dag 12, då även pH mättes i våmvätskan. pH-mätning i urinen skedde dagligen. Foderstaterna byttes efter sista provtagningen dag 14 och nästa provomgångs förperiod startade dagen efter.

### *Provtagning*

Prover på ensilaget togs varje dag och förvarades i fryskyl i  $-18^\circ\text{C}$  innan de torkades och förvarades i rumstemperatur. Prover på foderkalken, magnesiummineralerna och kaliumbikarbonatet togs en gång under den tredje försöksperioden. Prover på koncentratet och kornkrossen togs en gång under den sista försöksperioden. Eventuella foderrester samlades in dagligen under provperioden och frystes i separata plastpåsar. Kornas mjölmängd registrerades vid mjölkningarna morgon och kväll varje dag under provperioden och prover på mjölken togs vid varje registrering. Mjölkproverna fördes över i flaskor innehållande bronopol för konservering och förvarades i kylskåp i  $4-8^\circ\text{C}$  i upp till 7 dagar innan de analyserades med avseende på fett, laktos och protein. 10 ml ur varje prov sparades och lades ihop periodvis för varje ko. Dessa prover förvarades i fryskyl i  $-18^\circ\text{C}$ . Ett träckprov från varje ko togs när korna gödslade på morgonen (mellan klockan 8 och 10) och eftermiddagen (mellan klockan 14 och 16) under provperioden och förvarades i märkta plastpåsar i fryskyl,  $-18^\circ\text{C}$ . Ett urinprov från varje ko togs under förmiddagen varje dag under provperioden, och 20 ml av provet fördes över i en samlingsbehållare och förvarades i  $-18^\circ\text{C}$ . pH-värdet i urinproven kontrollerades med hjälp av en elektrisk pH-meter varje dag under provperioden. Ett blodprov från varje ko togs från svansvenen på förmiddagen dag 11 och 13 under varje provperiod i ett Vacutainerrör med natriumheparin. Provet centrifugerades i 15 minuter i 1500 varv/minut i en Jouan-centrifug, och blodplasman fördes över till eppendorfrör som frystes in i  $-18^\circ\text{C}$  i väntan på analys. Ett prov på våmvätskan togs från varje ko med hjälp av svalgsond på förmiddagen dag 12. Korna fördes till en fixeringsspilta och förseddes med munstege innan sonden fördes ner genom munnen via matstrupen till våmmen. Med hjälp av en vattensug sögs våmvätska upp. Proverna fördes över till flaskor som blev infrysade i  $-18^\circ\text{C}$  i väntan på analys. Försöksperiod 3-6 mättes även pH i våmvätskeproverna inom fem minuter efter provtagningen med hjälp av en elektrisk pH-meter. Alla korna vägdes efter våmsvalgsondningen den sista försöksveckan. En bedömning av varje kos träckkonsistens på en skala från 1-5, där 1 var lösast och 5 fastast, utfördes under varje provperiod vid träckprovtagningen på förmiddagen dag 14.

## *Analyser*

Beredning av proverna liksom analyserna av ts, aska, saltsyraolöslig aska samt magnesiumkoncentrationer i blodplasma, mjölk, våmvätska och urin utfördes på laboratoriet på Kungsängen. Analyser av kalium och magnesium i foder- och träckprover utfördes av Agrilab i Uppsala. Kraftfoderproverna torkades, maldes och analyserades med avseende på ts, aska, saltsyraolöslig aska, kalium och magnesium. Ensilageprover från varje dag under försöksperioderna blandades ihop och ett representativt prov togs ut för bestämning av saltsyraolöslig aska, magnesium och kalium. Foderkalken, magnesiummineralerna och kaliumbikarbonatet analyserades med avseende på ts-halt, aska och saltsyraolöslig aska. I slutet av försöket vägdes alla insamlade foderrester. De dagliga foderresterna från varje försöksperiod blandades ihop kovis och ett representativt prov vägdes upp och torkades i 60°C under 24h. En uppskattning gjordes av andelen ensilage, kraftfoder och mineraler i de torkade foderresterna. Mjölksproverna tinades i rumstemperatur. 0,8 ml av proverna blandades först med 10 % triklorättiksyra i förhållandet 1:1 och inkuberades i 5 minuter innan de centrifugerades under 15 minuter i 13 000 varv/minut för att separera vätskan från fett och proteiner. Supernatanten analyserades sedan med avseende på magnesium med hjälp av ett kommersiellt analyskit (Stanbio Magnesium LiquiColor). Proverna avlästes i en spektrofotometer vid våglängden 520 nm. Träckproven tinades i rumstemperatur vid varje provperiods slut. Proven från varje ko slogs ihop, blandades noga och ett representativt prov togs ut, vägdes och förvarades i frys i -18°C. Efter varannan försöksperiod fördes proverna över till en annan frys och kylades till -80°C över natten innan de frystorkades. Det frystorkade provet analyserades med avseende på ts, aska, saltsyraolöslig aska och mineraler. Urinproverna tinades i rumstemperatur, och 1 ml av varje urinsamlingsprov späddes 5 gånger med destillerat vatten innan det analyserades med avseende på magnesium med hjälp av ovanstående analyskit. Vid behov gjordes ytterligare spädningar med destillerat vatten då analysmetoden krävde koncentrationer inom ett visst intervall för att ge säkra resultat. Ca 10 ml av varje urinprov filtrerades genom ett Munktell filterpapper, späddes 20 gånger med destillerat vatten och analyserades med avseende på kreatinin. Blodplasman tinades och analyserades med avseende på magnesium med hjälp av samma kit som mjölken och avlästes i spektrofotometer. Våmvätskeproverna tinades i rumstemperatur, filtrerades genom ett Munktell filterpapper och centrifugerades i eppendorfrör i 13 000 varv/minut i 5 minuter. Supernatanten analyserades med avseende på magnesium med samma metod som blodplasman.

## *Statistiska analyser*

Vid de statistiska beräkningarna användes proceduren MIXED (Littell *et al.*, 1996) i SAS (SAS Institute Inc. Gary, N.C., USA). Ko, period och behandling sattes som fixa faktorer och ko som random. För att kunna analysera träckpoängen statistiskt transformerades de till en skala från 0-10. Resultatet från analyserna av blodplasman slogs ihop till ett medelvärde per ko och period innan det analyserades. De dagliga förlusterna av magnesium i urinen beräknades efter antagandet att korna utsöndrade 29 mg kreatinin/kg kroppsvikt och dag (Valadares, 1999).

## Resultat

### *Kroppsvikt och foderintag*

Vid vägningen vid försökets slut vägde korna mellan 570 – 685 kg med en medelvikt på 606 kilo. Dessa vikter användes tillsammans med koncentrationen av kreatinin och magnesium i urinproverna vid skattandet av kornas dagliga magnesiumutsöndring via urinen.

Två kor lämnade foderrester under någon av de olika provperioderna, upp till i genomsnitt 2 kg färskvikt per dag. Foderrester samlades framför allt in efter de utfodringstillfällen då mineraler blandats in i fodret. Därför användes ett standardförhållande mellan mineraler och grovfoder baserat på de ungefärliga totala proportionerna vid mineralinblandningen för att räkna ut minskningen i intag av saltsyraolöslig aska och mineraler för de kor som lämnat foderrester. Utseendet hos de torkade foderresterna tydde inte på några betydande lämningar av kraftfoder.

Tabell 1 visar kornas genomsnittliga intag i kg ts av de olika komponenterna i foderstaten efter korrigering enligt ovan av lämnade foderrester och uträknat per behandling. Den genomsnittliga ts-konsumtionen under hela försöket var totalt 16,1 kg.  $\text{KHCO}_3$  innehöll 390 g K/kg ts och Mg-mineralerna innehöll 340 g Mg/kg ts. Mineralinnehållet i ensilaget låg under försöket på 1,5 g Mg/kg ts och 26,4 g K/kg ts. Kornets mineralinnehåll var 1,2 g Mg/kg ts samt 5,0 g K/kg ts, och koncentratet innehöll 4,3 g Mg/kg ts och 4,6 g K/kg ts.

Tabell 1. Det genomsnittliga intaget i kg ts/dag av de olika foderstatskomponenterna.

|                 | Låg Mg |          |       | Hög Mg |          |       |
|-----------------|--------|----------|-------|--------|----------|-------|
|                 | Låg K  | Mellan K | Hög K | Låg K  | Mellan K | Hög K |
| Ensilage        | 9.3    | 9.4      | 9.7   | 9.7    | 9.6      | 9.2   |
| Korn            | 3.1    | 3.2      | 3.3   | 3.3    | 3.3      | 3.2   |
| Koncentrat      | 2.8    | 2.9      | 3.0   | 3.0    | 3.0      | 2.9   |
| $\text{KHCO}_3$ | 0      | 0.377    | 0.788 | 0      | 0.384    | 0.716 |
| Mg-mineraler    | 0      | 0        | 0     | 0.118  | 0.117    | 0.109 |
| Kalk            | 0.047  | 0.047    | 0.049 | 0.049  | 0.049    | 0.047 |
| Totalt          | 15.3   | 15.9     | 16.9  | 16.2   | 16.4     | 16.1  |

Magnesiumkoncentrationerna i totalfoderstaterna var vid de olika behandlingarna i genomsnitt 1,9 respektive 4,3 g Mg/kg ts och kaliumkoncentrationerna 19, 28 respektive 37 g K/kg ts, vilket motsvarade ett totalt mineralintag på ca 30 respektive 70 g Mg/ko och dag samt ca 300, 455 respektive 600 g K/ko och dag, se tabell 2. I grundfoderstaten kom magnesiumet till ca 46 % från vallfodret, 13 % från kornet och 41 % från koncentratet. Då korna utfodrades med tillskott av magnesiumoxid kom ca 57 % av foderstatens totala magnesiuminnehåll från tillskottet.

Tabell 2. Det genomsnittliga totala intaget av Mg och K i g/dag för de olika behandlingarna.

|    | Låg Mg |          |       | Hög Mg |          |       |
|----|--------|----------|-------|--------|----------|-------|
|    | Låg K  | Mellan K | Hög K | Låg K  | Mellan K | Hög K |
| Mg | 29.6   | 30.0     | 31.1  | 71.6   | 70.7     | 67.0  |
| K  | 295.7  | 446.9    | 611.8 | 310.5  | 456.7    | 574.0 |

## Magnesiumbalans och smältbarhet

En beräkning av den genomsnittliga magnesiumbalansen för korna under de olika behandlingarna utfördes (se tabell 3). Då magnesiumkoncentrationen i mjölken befanns vara relativt konstant mellan kor och inte påverkades signifikant av någon behandling användes ett genomsnittsvärde över alla behandlingar (0,091 g Mg/l) för att räkna ut de dagliga magnesiumförlusterna i mjölken. Den beräknade absorptionen av magnesium räknades ut efter antagandet att den sammanlagda utsöndringen via mjölk och urin motsvarade den totala magnesiumabsorptionen.

Tabell 3. Genomsnittlig magnesiumbalans och minsta kvadratmedelvärden (g/dag om inte annat anges) för korna på de olika behandlingarna.

|                          | Låg Mg            |                   |                   | Hög Mg             |                   |                    | SEM  | P-värde |         |       |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------|---------|---------|-------|
|                          | Låg K             | Medel K           | Hög K             | Låg K              | Medel K           | Hög K              |      | K       | Mg      | K*Mg  |
| Mg-intag                 | 29,6              | 30,0              | 31,1              | 71,6               | 70,7              | 67,0               | *    | *       | *       | *     |
| Träck                    | 22,5 <sup>a</sup> | 26,3 <sup>a</sup> | 25,5 <sup>a</sup> | 54,4 <sup>b</sup>  | 53,9 <sup>b</sup> | 52,0 <sup>b</sup>  | 3,08 | 0,842   | <0.0001 | 0,625 |
| Smältbart <sup>1</sup> , | 7,1 <sup>a</sup>  | 3,8 <sup>a</sup>  | 5,6 <sup>a</sup>  | 17,2 <sup>b</sup>  | 16,8 <sup>b</sup> | 15,1 <sup>b</sup>  | 2,64 | 0,676   | <0.0001 | 0,725 |
| Smbhet <sup>2</sup> , %  | 22,5 <sup>a</sup> | 12,5 <sup>a</sup> | 18,0 <sup>a</sup> | 23,8 <sup>a</sup>  | 24,5 <sup>a</sup> | 23,7 <sup>a</sup>  | 5,80 | 0,685   | 0,160   | 0,608 |
| Urin,                    | 3,5 <sup>ac</sup> | 2,9 <sup>a</sup>  | 3,0 <sup>a</sup>  | 7,2 <sup>b</sup>   | 5,3 <sup>bc</sup> | 7,1 <sup>b</sup>   | 1,12 | 0,228   | <0.0001 | 0,563 |
| Mjök <sup>3</sup>        | 1,7 <sup>a</sup>  | 1,8 <sup>ab</sup> | 2,0 <sup>b</sup>  | 2,0 <sup>b</sup>   | 1,8 <sup>ab</sup> | 1,7 <sup>a</sup>   | 0,09 | 0,891   | 0,858   | 0,003 |
| Balans                   | 1,8 <sup>ac</sup> | -0,9 <sup>a</sup> | 0,6 <sup>ad</sup> | 7,9 <sup>bc</sup>  | 9,6 <sup>b</sup>  | 6,3 <sup>bcd</sup> | 2,46 | 0,830   | 0,001   | 0,537 |
| Abs <sup>4</sup> , %     | 17,4 <sup>a</sup> | 15,6 <sup>a</sup> | 16,2 <sup>a</sup> | 12,9 <sup>ab</sup> | 10,2 <sup>b</sup> | 13,4 <sup>ab</sup> | 2,58 | 0,390   | 0,007   | 0,764 |

\*Ej bestämt då korna fick begränsade fodergivor.

<sup>a, b, c</sup>Värden i samma rad med lika bokstäver skiljer sig inte signifikant (P < 0,05).

<sup>1</sup>Mängden magnesium i foder – mängden i träck.

<sup>2</sup>Skenbar smältbarhet ((Intag – träck)/intag).

<sup>3</sup>Baserat på ett medelvärde för magnesiumkoncentrationen i mjölk,

<sup>4</sup>Beräknad absorption, ((Mjök + urin)/intag)

Magnesiumintaget påverkade både den dagliga utsöndringen av magnesium i träck och i urin signifikant (P<0,05), se tabell 3. Ett ökat intag av magnesium ledde till att korna utsöndrade mer magnesium i både träcken, i genomsnitt 29 g mer/dag, och i urinen, i genomsnitt 3,4 g mer/dag. Kaliumintaget gav ingen signifikant påverkan vare sig på magnesiuminnehållet i träcken eller i urinen. Mängden smältbart magnesium beräknad som skillnaden mellan magnesiumintaget och mängden magnesium i träcken ökade från i medeltal 5,5 g/dag till 16,4 g/dag då korna fick extra magnesium, medan den skenbara smältbarheten i % av intaget inte påverkades signifikant av vare sig ökat magnesiumintag eller kaliumintag. Varken magnesiumintaget eller kaliumintaget hade heller någon signifikant effekt på den dagliga magnesiumutsöndringen i mjölk, men en samspelseffekt kunde påvisas (tabell 3). Magnesiumbalansen ökade signifikant från 0,5 g/dag till 8 g/dag i genomsnitt vid ett ökat intag av magnesium, men påverkades inte av kaliumintaget. Den beräknade absorptionen för magnesium var signifikant lägre hos de kor som fick extra magnesium, 12,1 % mot 16,4%.

## Magnesiumkoncentrationer, pH-värden, träckpoäng och mjölmängd

Ökat intag av kalium från lägsta nivån till de två högre gav en signifikant höjning av pH i urinen med 0,1 enhet, se tabell 4. Ingen skillnad kunde ses mellan de båda högsta nivåerna. Ett ökat kaliumintag från lägsta nivån till den högsta gav en signifikant höjning av pH i våmvätskan från 6,52 till 6,68. Ingen signifikant skillnad mellan medelnivån av kalium och någon av de andra kunde påvisas. Ökande magnesiumkoncentrationer i fodret hade en svagt

signifikant pH-sänkande effekt på urinen. Magnesiumintaget hade en signifikant positiv påverkan på magnesiumhalten i våmvätskan, 3,37 mM mot 2,13 mM för de kor som inte fick magnesiumtillskott. Magnesiumintaget hade även en signifikant ökande effekt på koncentrationen av magnesium i blodplasman, se tabell 4. Ett ökat intag av magnesium hade även en signifikant påverkan på träckkonsistensen, med i genomsnitt 3 enheter lägre träckpoäng för de kor som fick extra magnesium, se tabell 4. Kaliumintaget hade ingen tydlig påverkan på kornas träckkonsistens. Magnesiumkoncentrationen i vämnen liksom pH-värdet i våmvätskan varierade signifikant mellan perioder.

Tabell 4. Mg-koncentrationer i våmvätska (mM), blodplasma (mM) och mjölk (g/l), pH i urin och våmvätska, mjölmängd (l/dag) samt träckpoäng (0-10) för de olika behandlingarna, med minsta kvadratmedelvärden

|               | Låg Mg             |                    |                    | Hög Mg             |                    |                    | SEM   | P-värde |         |       |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|---------|---------|-------|
|               | Låg K              | Medel K            | Hög K              | Låg K              | Medel K            | Hög K              |       | K       | Mg      | K*Mg  |
| Våmvätska     | 2,14 <sup>ac</sup> | 2,07 <sup>a</sup>  | 2,17 <sup>ac</sup> | 3,60 <sup>b</sup>  | 3,55 <sup>b</sup>  | 2,97 <sup>bc</sup> | 0,294 | 0,566   | <0.0001 | 0,426 |
| Plasma        | 0,79 <sup>a</sup>  | 0,83 <sup>ab</sup> | 0,81 <sup>a</sup>  | 0,90 <sup>b</sup>  | 0,88 <sup>b</sup>  | 0,86 <sup>ab</sup> | 0,038 | 0,796   | 0,009   | 0,415 |
| Mjölk, g/l    | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,09 <sup>ab</sup> | 0,10 <sup>b</sup>  | 0,09 <sup>ab</sup> | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,004 | 0,720   | 0,306   | 0,027 |
| pH urin       | 8,12 <sup>ac</sup> | 8,23 <sup>b</sup>  | 8,22 <sup>b</sup>  | 8,06 <sup>c</sup>  | 8,17 <sup>ab</sup> | 8,22 <sup>b</sup>  | 0,026 | <0.0001 | 0,048   | 0,461 |
| pH våm        | 6,55 <sup>ab</sup> | 6,59 <sup>ab</sup> | 6,70 <sup>a</sup>  | 6,49 <sup>b</sup>  | 6,58 <sup>ab</sup> | 6,66 <sup>a</sup>  | 0,054 | 0,040   | 0,424   | 0,862 |
| Mjölk, kg/dag | 19,6 <sup>a</sup>  | 19,6 <sup>a</sup>  | 20,5 <sup>ab</sup> | 21,2 <sup>b</sup>  | 20,4 <sup>ab</sup> | 19,4 <sup>a</sup>  | 0,939 | 0,644   | 0,330   | 0,054 |
| Träckp        | 8,2 <sup>a</sup>   | 5,5 <sup>ab</sup>  | 7,3 <sup>ac</sup>  | 4,2 <sup>b</sup>   | 3,2 <sup>b</sup>   | 4,5 <sup>bc</sup>  | 1,106 | 0,180   | 0,002   | 0,712 |

<sup>a, b, c</sup>Värden i samma rad med lika bokstäver skiljer sig inte signifikant (P < 0,05).

Kornas genomsnittliga mjölmängd sjönk under försöket med i genomsnitt 6 kg från period 1 till period 6. Minskningen var snabbast i början, medan mjölmängden var relativt stabil mot slutet av försöket. Varken magnesiumintaget eller kaliumintaget påverkade mjölmängden signifikant. Magnesiumkoncentrationen i mjölk var relativt konstant mellan korna och påverkades inte heller signifikant av vare sig magnesiumkoncentrationen eller kaliumkoncentrationen i foderstaten. Koncentrationen av magnesium i mjölken påverkades dock av ett signifikant samspel mellan magnesium och kalium i foderstaten.



Tabell 3. Genomsnittlig magnesiumbalans och minsta kvadratmedelvärden (g/dag om inte annat anges) för korna på de olika behandlingarna.

|                          | Låg Mg            |                   |                   | Hög Mg             |                   |                    | SEM  | P-värde |         |       |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------|---------|---------|-------|
|                          | Låg K             | Medel K           | Hög K             | Låg K              | Medel K           | Hög K              |      | K       | Mg      | K*Mg  |
| Mg-intag                 | 29,6              | 30,0              | 31,1              | 71,6               | 70,7              | 67,0               | *    | *       | *       | *     |
| Träck                    | 22,5 <sup>a</sup> | 26,3 <sup>a</sup> | 25,5 <sup>a</sup> | 54,4 <sup>b</sup>  | 53,9 <sup>b</sup> | 52,0 <sup>b</sup>  | 3,08 | 0,842   | <0.0001 | 0,625 |
| Smältbart <sup>1</sup> , | 7,1 <sup>a</sup>  | 3,8 <sup>a</sup>  | 5,6 <sup>a</sup>  | 17,2 <sup>b</sup>  | 16,8 <sup>b</sup> | 15,1 <sup>b</sup>  | 2,64 | 0,676   | <0.0001 | 0,725 |
| Smbhet <sup>2</sup> , %  | 22,5 <sup>a</sup> | 12,5 <sup>a</sup> | 18,0 <sup>a</sup> | 23,8 <sup>a</sup>  | 24,5 <sup>a</sup> | 23,7 <sup>a</sup>  | 5,80 | 0,685   | 0,160   | 0,608 |
| Urin,                    | 3,5 <sup>ac</sup> | 2,9 <sup>a</sup>  | 3,0 <sup>a</sup>  | 7,2 <sup>b</sup>   | 5,3 <sup>bc</sup> | 7,1 <sup>b</sup>   | 1,12 | 0,228   | <0.0001 | 0,563 |
| Mjök <sup>3</sup>        | 1,7 <sup>a</sup>  | 1,8 <sup>ab</sup> | 2,0 <sup>b</sup>  | 2,0 <sup>b</sup>   | 1,8 <sup>ab</sup> | 1,7 <sup>a</sup>   | 0,09 | 0,891   | 0,858   | 0,003 |
| Balans                   | 1,8 <sup>ac</sup> | -0,9 <sup>a</sup> | 0,6 <sup>ad</sup> | 7,9 <sup>bc</sup>  | 9,6 <sup>b</sup>  | 6,3 <sup>bcd</sup> | 2,46 | 0,830   | 0,001   | 0,537 |
| Abs <sup>4</sup> , %     | 17,4 <sup>a</sup> | 15,6 <sup>a</sup> | 16,2 <sup>a</sup> | 12,9 <sup>ab</sup> | 10,2 <sup>b</sup> | 13,4 <sup>ab</sup> | 2,58 | 0,390   | 0,007   | 0,764 |

\*Ej bestämt då korna fick begränsade fodergivor.

<sup>a, b, c</sup>Värden i samma rad med lika bokstäver skiljer sig inte signifikant (P < 0,05).

<sup>1</sup>Mängden magnesium i foder – mängden i träck.

<sup>2</sup>Skenbar smältbarhet ((Intag – träck)/intag).

<sup>3</sup>Baserat på ett medelvärde för magnesiumkoncentrationen i mjölk,

<sup>4</sup>Beräknad absorption, ((Mjök + urin)/intag)

Tabell 4. Mg-koncentrationer i våmvätska (mM), blodplasma (mM) och mjölk (g/l), pH i urin och våmvätska, mjölmängd (l/dag) samt träckpoäng (0-10) för de olika behandlingarna, med minsta kvadratmedelvärden

|              | Låg Mg             |                    |                    | Hög Mg             |                    |                    | SEM   | P-värde |         |       |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|---------|---------|-------|
|              | Låg K              | Medel K            | Hög K              | Låg K              | Medel K            | Hög K              |       | K       | Mg      | K*Mg  |
| Våmvätska    | 2,14 <sup>ac</sup> | 2,07 <sup>a</sup>  | 2,17 <sup>ac</sup> | 3,60 <sup>b</sup>  | 3,55 <sup>b</sup>  | 2,97 <sup>bc</sup> | 0,294 | 0,566   | <0.0001 | 0,426 |
| Plasma       | 0,79 <sup>a</sup>  | 0,83 <sup>ab</sup> | 0,81 <sup>a</sup>  | 0,90 <sup>b</sup>  | 0,88 <sup>b</sup>  | 0,86 <sup>ab</sup> | 0,038 | 0,796   | 0,009   | 0,415 |
| Mjök, g/l    | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,09 <sup>ab</sup> | 0,10 <sup>b</sup>  | 0,09 <sup>ab</sup> | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,09 <sup>a</sup>  | 0,004 | 0,720   | 0,306   | 0,027 |
| pH urin      | 8,12 <sup>ac</sup> | 8,23 <sup>b</sup>  | 8,22 <sup>b</sup>  | 8,06 <sup>c</sup>  | 8,17 <sup>ab</sup> | 8,22 <sup>b</sup>  | 0,026 | <0.0001 | 0,048   | 0,461 |
| pH våm       | 6,55 <sup>ab</sup> | 6,59 <sup>ab</sup> | 6,70 <sup>a</sup>  | 6,49 <sup>b</sup>  | 6,58 <sup>ab</sup> | 6,66 <sup>a</sup>  | 0,054 | 0,040   | 0,424   | 0,862 |
| Mjök, kg/dag | 19,6 <sup>a</sup>  | 19,6 <sup>a</sup>  | 20,5 <sup>ab</sup> | 21,2 <sup>b</sup>  | 20,4 <sup>ab</sup> | 19,4 <sup>a</sup>  | 0,939 | 0,644   | 0,330   | 0,054 |
| Träckp       | 8,2 <sup>a</sup>   | 5,5 <sup>ab</sup>  | 7,3 <sup>ac</sup>  | 4,2 <sup>b</sup>   | 3,2 <sup>b</sup>   | 4,5 <sup>bc</sup>  | 1,106 | 0,180   | 0,002   | 0,712 |

<sup>a, b, c</sup>Värden i samma rad med lika bokstäver skiljer sig inte signifikant (P < 0,05).

## Diskussion

Hypotesen att ett ökat intag av kalium i försöket skulle påverka magnesiumupptaget negativt hos mjölkande kor visade sig inte stämma. Ingen signifikant påverkan av kalium på magnesiumbalansen eller den beräknade absorptionen av magnesium kunde påvisas. Däremot medförde ett tillskott av magnesium i försöket en ökning av mängden absorberat magnesium, samt en sänkning av den skattade smältbarheten.

För att följa rekommendationerna för mjölkande kor som Weiss (2004) kom fram till om 18 g extra magnesium för varje procentenhet kalium som överskrider 1 % i fodret borde i detta försök foderstaten med den högsta nivån av K, motsvarande ca 37 g K/kg ts (3,7 % K) kompletteras med ca 49 g Mg extra per dag för att bibehålla samma mängd absorberbart magnesium. Magnesiumtillskottet korna fick vid den högre magnesiumgivan gav dem ca 40 g Mg extra per dag. För den lägre nivån av kalium, ca 28 g K/kg ts, skulle fodret kompletteras med ca 33 g Mg extra för att samma mängd absorberbart magnesium skulle uppnås, vilket uppfylldes då korna fick magnesiumtillskott. Enligt Weiss (2004) skulle korna alltså i detta försök ur grundfoderstaten kunna absorbera mindre magnesium än vid tillskott av magnesium och medelhög kaliumgiva, men mer än vid tillskott av magnesium och högsta kaliumgiva. Det överensstämmer inte med våra resultat som inte visade någon negativ påverkan av kalium på mängden absorberat magnesium, oavsett om mängden absorberat magnesium antogs vara den mängd som inte följer med träcken ut eller beräknat som den totala mängden magnesium utsöndrad via mjölk och urin. Detta tyder på att effekten av kalium på absorptionen av magnesium i detta försök inte alls var lika stor som tidigare studier har kunnat påvisa.

Nivåerna av magnesium i foderstaterna i försöket sattes för att ligga inom normala intervall för att inte utsätta korna för risken att få bristsymtom respektive diarré, och för att uppnå resultat med praktisk anknytning. Detta innebär att magnesiumkoncentrationerna i foderstaten låg högt i jämförelse med vissa tidigare studier där en tydlig påverkan av kalium kunnat påvisas. Detta kan spela roll för resultatet, eftersom kalium påverkar magnesiumupptaget framför allt vid låga koncentrationer av magnesium i fodret (Martens & Schweigel, 2000). Vid högre intag av magnesium kan den hämmande effekten av kalium motverkas av den höga magnesiumkoncentrationen, eftersom den transportmekanism som hämmas av kaliumkoncentrationen då har mindre betydelse. Lägre koncentrationer av magnesium i grundfoderstaten hade kanske givit en synbar effekt av kaliumnivåerna i fodret. Dock har tidigare studier utförda av Jittakhot m.fl. (2004a) påvisat hämmande effekter av ökat intag av kalium på magnesiumabsorptionen, med kalium- och magnesiumintag jämförbara med intagen i den här studien. De studierna har dock inte utförts på lakterande kor utan på sinkor, med ett avsevärt lägre totalt foderintag (7-8 kg ts jämfört med ca 16 kg ts i det här försöket), vilket innebär högre koncentrationer av både kalium och magnesium i fodret, samtidigt som magnesiumbehoven är lägre hos sinkor. Studier utförda av Jittakhot m.fl. (2004c) på får utfodrade med liknande koncentrationer av magnesium och kalium som de som användes i det här försöket visade inte på någon signifikant försämring av magnesiumabsorptionen förrän kaliumkoncentrationen kom upp i nästan 60 g/kg ts, vilket är avsevärt mer än de 37 g/kg ts som var den högsta nivån i det här försöket. Så höga halter kan inte förväntas förekomma i foderstater som är aktuella för mjölkkor i Sverige.

Försöksfoderstaterna med låg magnesiumkoncentration (1,9 g/kg ts) ligger i underkant av det svenska rekommenderade intervallet för foderstatens magnesiumkoncentration för mjölkande kor (2,0 – 2,5 g/kg ts), men inom NRC:s rekommendationer för kor med lika hög

mjölkproduktion som korna hade under försöket. Då balansräkningen hos vissa av korna visade negativa siffror när de utfodrades med de foderstater som hade låg magnesiumkoncentration kan detta tyda på att de var i eller i riskzonen för att hamna i negativ magnesiumbalans. Balansen verkade inte påverkas av kaliumkoncentrationerna i fodret, tvärtom vad tidigare studier har visat. Kor i negativ magnesiumbalans kan vara känsligare för stress, eftersom stress vid magnesiumbrist skulle kunna utlösa kramper. I de flesta kommersiella svenska mineralfoderblandningar ingår magnesium med runt 10 %, vilket innebär att svenska mjölkkor som i praktiken oftast får mineraltillskott via en mineralfoderblandning, och inte som i detta försök får mineralbehovet tillgodosett via separata mineralfoder, utan tillförsel av extra magnesium gott och väl kan hamna inom det rekommenderade intervallet för magnesiumkoncentration.

Det var stora individuella skillnader i magnesiumutsöndringen via träcken och därigenom i skenbar absorption av magnesium. Skillnader mellan korna var även tydliga i magnesiumutsöndringen via urin, och i den totala magnesiumbalansen. Med ledning av detta kan man dra slutsatsen att olika kor är olika känsliga för låga magnesiumnivåer. Eftersom alla kor i det här försöket deltog i alla behandlingar påverkar de individuella skillnaderna mellan korna inte slutresultatet, men det visar på vikten att ha en säkerhetsmarginal för rekommenderade nivåer av mineraler i foderstater.

Eftersom korna varken var dräktiga eller varierade i vikt är de höga positiva balansvärdena uträkningen visar vid tillförsel av extra magnesium orimliga. Så stora mängder magnesium, i genomsnitt upp till 9,6 g/dag, tyder på felaktigheter i de beräknade värdena. Mindre positiva mängder magnesium kan förekomma i en balansräkning eftersom en liten mängd magnesium går åt till exempel vid bildning av hår och klövar, men det handlar inte om så stora mängder. De höga balanserna speglar en orimligt hög skenbar absorption av magnesium, för en ko vid ett tillfälle så högt som 78 %. Dessa värden beror troligen på en underskattning av magnesiumutsöndringen i träcken. Det beräknade dagliga innehållet av magnesium i träcken visade sig vara avsevärt lägre under period tre och fyra än under de övriga perioderna. Analyserna av träcken under dessa två perioder visade på ett något lägre magnesiuminnehåll men framför allt ett högre innehåll av saltsyraolöslig aska än träcken från de övriga perioderna, vilket ledde till att den beräknade träckmängden blev mindre (i genomsnitt 21 kg/dag under period tre och fyra mot i snitt 30 kg/dag under de övriga perioderna). Eftersom analyserna av saltsyraolöslig aska gjordes löpande med två perioder i taget kan denna variation bero på bristande säkerhet i analysmetoden och därigenom i resultaten. Detta påverkar i så fall även balansräkningarna, då den beräknade magnesiumförlusten i träcken beror på förhållandet i träcken mellan magnesiumkoncentrationen och koncentrationen av saltsyraolöslig aska. Korna uppvisade i genomsnitt en tydligt mer positiv magnesiumbalans under period tre och fyra än under de övriga perioderna. Vid samtliga analyser av saltsyraolöslig aska användes ett och samma kontrollprov, som uppvisade högst värde vid analysen av träcken från period tre och fyra. Dock var inte skillnaden särskilt stor, vilket tyder på att andra faktorer än analyserna påverkat resultaten och givit upphov till de stora variationerna. Saltsyraolöslig aska var i detta försök troligen en mindre tillförlitlig markör för att beräkna den totala dagliga mängden träck, och därigenom den dagliga förlusten av magnesium i träcken. Orsaken till det är oklar. Detta leder till att både de beräknade magnesiumbalanserna och den beräknade skenbara smältbarheten för magnesium är osäkra.

Flera av korna åt halm från golvet när det ströddes, vilket medför osäkerheter både i skattningen av den totala mängden konsumerat foder, vilket påverkar mängden saltsyraolöslig

aska korna fått i sig, och i skattningen av den totala mängden magnesium och kalium de ätit. Mängden halm korna fick tillgång till dagligen kan antas vara lika stor under hela försöket, och inte så stor att den påverkat balansräkningen i någon större utsträckning. En större halmkonsumtion under period tre och fyra skulle ha kunnat förklara skillnaderna i den beräknade magnesiumutsöndringen via träcken, eftersom korna då fått i sig större mängd saltsyraolöslig aska än beräknat. Korna upplevdes dock inte äta mer halm under dessa två perioder än under de övriga fyra. Andra faktorer som kan påverka säkerheten i skattningen av foderintag är variationen i ensilagens ts-halt samt uppvägning och utportionering av ensilaget. Ts-halterna i ensilaget varierade ett par procentenheter både inom och mellan perioderna under försöket. Likadant varierade mängden av fodervagnen uppvägt ensilage mellan fodringarna, samt spillet vid utportioneringen. Dessa variationer kan påverka resultatet, men får antas vara slumpmässiga och borde ta ut varandra.

En av de två korna som lämnade foderrester lämnade kontinuerligt mindre mängder, upp till 450 g torrsvikt (med ca 50 % ts-halt) i genomsnitt per dag alla perioder utom en, medan den andra lämnade en större mängd foderrester under en försöksperiod, mer än 1 kg torrsvikt i genomsnitt per dag under provperioden. Den av korna som lämnade foderrester under flera perioder verkade äta sämre när hon fick kalium i fodret. Denna ko visade sig efter försöket ha vasst, vilket kan ha påverkat aptiten negativt och lett till att en försämrad smaklighet på ensilaget vid en hög inblandning av kaliumbikarbonat visade sig tydligast hos henne. Enligt litteraturen har magnesiumoxid låg smaklighet, och kan därför medföra ett sänkt foderintag. Vi kunde inte se några minskningar i aptiten kopplade till tillförd magnesiumoxid, vilket kan bero på att mängden magnesiumoxid i ensilaget inte var så stor, i genomsnitt ca 63 g/dag (ca 115 g ts totalt av magnesiummineralfodret), vilket delades upp på två portioner som vardera blandades i ca 5 kg ensilage. Mängden kaliumbikarbonat var mycket större, som mest 1000g/dag, vilket innebar att en ganska stor andel av den totala fodermängden vid utfodringstillfället bestod av mineraler. Det kan förklara kaliumbikarbonatets större påverkan på aptiten. Ingen påverkan av detta kunde dock ses på det genomsnittliga totala ts-intaget, som inte skilde sig signifikant mellan behandlingarna. Eftersom korna först fick ensilage med inblandade mineraler och sedan kraftfodret ovanpå lämnades ibland mindre mängder kraftfoder som korna inte kunde separera från det mineralinblandade ensilaget. Ett säkrare resultat i skattningen av det minskade intaget av torrsbstans, saltsyraolöslig aska och mineraler hade uppnåtts om foderresterna analyserats istället för att bara bedöma sammansättningen. Det kan dock vara svårt att få ett representativt prov ur en så heterogen blandning. De beräknade balanserna för korna som lämnat foderrester gav de två högsta beräknade balanserna i försöket (29,4 respektive 25,9 g/dag) vilket visar på den stora osäkerheten i bedömningen av foderresternas innehåll, men även kor som inte lämnade några foderrester uppvisade vid vissa tillfällen höga balanser, upp till 19,3 g/dag.

Då tabellvärden för vatten- och mineralhalterna i kornet och koncentratet skilde sig något från de analyserade värdena skiljer sig de beräknade värdena på foderstaterna något från dem som uppnåddes under försöket. Även den genomsnittliga mineralhalten i ensilaget under försöksperioden skilde sig något från det analys svar som användes för att beräkna foderstaterna. Vid beräkningen av mängden mineraler som skulle tillföras till foderstaterna räknades inte mineralernas torrsbstanssvikt med i foderstatens totala mängd. Då en relativt stor mängd mineraler utfodrades ledde detta till att den tillförda mineralmängden inte riktigt räckte till för att uppnå de på förhand bestämda koncentrationerna i totalfoderstaterna.

Resultaten visade på en signifikant ökning av magnesiumutsöndringen via träcken när korna fick extra magnesium i fodret, närmare en fördubbling. Även urinutsöndringen av magnesium

ökade, vilket tyder på att ett ökat intag av magnesium ökar mängden absorberat magnesium. Att utsöndringen via träcken ökade beror på att korna bara kunde absorbera en viss del av magnesiumet i våmmen. Kaliumgivan verkade inte ha någon påverkan på vare sig träckens eller urinens innehåll av magnesium, vilket tyder på att kaliumintaget inte påverkade absorptionen av magnesium från våmmen. Då kon inte reglerar upptaget av magnesium i våmmen och ett absorberat överskott av magnesium filtreras i princip fullständigt via njurarna och utsöndras i urinen var den ökade magnesiumutsöndringen via urinen vid extra tillförsel av magnesium väntad, och stämde överens med tidigare studier. Eftersom kroppen inte kan reglera absorptionen av magnesium krävs det en effektiv strategi för att bli av med ett eventuellt absorberat överskott för att bibehålla lagom höga koncentrationer i de extracellulära vätskorna.

Den dagliga utsöndringen av magnesium i urinen beräknades i försöket efter antagandet att korna vägde lika mycket under hela försöket som vid vägningen under den sista försöksperioden, och att de utsöndrade 29 mg kreatinin/kg kroppsvikt och dag. Inga större förändringar i hullet hos korna kunde observeras och de var heller inte dräktiga, varför det kan vara rimligt att anta att deras kroppsvikt och därigenom den dagliga kreatininutsöndringen var relativt konstant under hela försöket. För ett mer exakt beräknat mått på den dagliga magnesiumutsöndringen via urin kunde ytterligare åtminstone en vägning ha genomförts, för att få en uppfattning om huruvida kornas kroppsvikt verkligen var konstant.

Den beräknade absorptionen av magnesium, beräknad som andelen av magnesiumintaget som utsöndrades i mjölk och urin efter antagandet att korna var i balans och varken ökade eller minskade kroppens förråd av magnesium, visade sig vara lägre då korna fick tillskott av magnesium, i genomsnitt 12,1 % jämfört med 16,4 %. Detta motsvarar lägre värden än vad som anges i NRC (2001), där 16 % anges som ett värde med säkerhetsmarginal. Den individuella variationen mellan korna i det här försöket var dock stor, och även tidigare studier har visat på liknande nivåer av absorption (Jittakhot *et al*, 2004b). Det magnesium som absorberas och inte går åt till mjölkproduktionen utsöndras i princip uteslutande i urinen då kon inte växer eller är dräktig. Den totala mängden magnesium utsöndrad via urin och mjölk kan därför betraktas som den totala mängden absorberat magnesium. Då värdena på magnesiumutsöndringen via träcken varierade mycket mellan perioder kan den beräknade absorptionen i detta försök vara ett bättre mått på magnesiumsmältbarheten än vad den skenbara smältbarheten, beräknad som andelen av magnesiumintaget som inte följer med träcken ut, är. Variationerna i värdena för den dagliga mängden magnesium i träcken kan bero på att metoden att använda saltsyraolöslig aska som markör i träcken i detta försök inte gav tillräckligt tillförlitliga resultat. Inga signifikanta skillnader mellan behandlingarna med avseende på den skenbara smältbarheten av magnesium kunde påvisas, troligtvis på grund av den stora variationen inom och mellan behandlingar. Den signifikanta minskningen i beräknad absorption vid ökande magnesiumintag som detta försök kunde visa stämmer inte överens med resultat från en tidigare studie där motsatsen visades (Jittakhot *et al*, 2004b). I den studien medförde ett ökat magnesiumintag hos sinkor från 27 till 64 g/dag en ökad skenbar smältbarhet från 13 till 18 %, medan ytterligare ökade magnesiumintag inte hade någon signifikant påverkan på den skenbara smältbarheten. Varför dessa resultat skiljer sig från resultaten erhållna i det här försöket är oklart. Den skenbara smältbarheten beräknades i det fallet som andelen av det konsumerade magnesiumet som inte följde med träcken ut, medan den beräknade absorptionen i det här försöket beräknades som andelen av det dagliga magnesiumintaget som sammanlagt utsöndras via mjölk och urin.

I försöket kunde en signifikant ökning av blodplasmans magnesiumhalt ses hos de kor som utfodrades med extra magnesium, i medeltal 0,88 mM mot 0,81 mM. Ingen effekt av kalium på magnesiumhalten i blodplasman kunde ses. En ökning av magnesiumkoncentrationen i blodet vid ökande magnesiumintag har visats även i en del andra studier. Däremot har tidigare studier på mjölkande kor kunnat påvisa en sänkning i blodplasmans magnesiumhalt vid ett ökat intag av kalium (Fisher *et al*, 1994). I det försöket låg dock magnesiumnivåerna i blodplasman generellt högre än vad våra resultat visade, runt 1 mM, och kalium hade signifikant påverkan även på magnesiumabsorptionen hos korna. Eftersom kalium i detta försök inte visade sig ha någon påverkan på upptaget av magnesium i våmmen var det heller inte väntat att en påverkan av kalium på magnesiumhalten i blodplasman skulle synas.

Träckkonsistensen bedömdes under försöket enligt en skala graderad från 1-5. Då ingen av korna under någon del av försöket hade vare sig extremt lös eller extremt fast träck användes enbart bedömningspunkterna 2-4, ofta i kombination med plus och minustecken. Vid den statistiska analysen transformerades den använda skalan till en heltalsskala från 0-10 så att alla använda bedömningssteg fick ett eget värde. Den statistiska analysen visade en signifikant skillnad i träckkonsistens, med lösare träck hos de kor som fick extra magnesium vilket är i enlighet med litteraturen (Chester-Jones *et al*, 1990). Den genomsnittliga skillnaden i träckpoäng mellan de kor som fick extra magnesium och de kor som inte fick det var på den tiogradiga skalan 3 enheter, med medelpoängen 3,9 respektive 7, vilket motsvarade en enhet på den ursprungliga femgradiga skalan. Inga direkta samband mellan de bedömda träckpoängerna och träckens analyserade ts-halt kunde dock ses ( $R^2 = 0,20$ ). Ingen påverkan av den konsumerade mängden kalium på träckkonsistensen kunde observeras, vilket inte heller var väntat. För ett mer tillförlitligt resultat borde bedömningen av träckkonsistensen dock ha gjorts blind, och inte som i detta fall av personer som visste vilka kor som fick vilken mineralblandning. Träckkonsistensen varierade synbart mellan olika dagar under försöksperioden även hos de kor i stallet som inte deltog i försöket, vilket tyder på att andra faktorer än magnesiumkoncentrationen i foderstaten troligtvis påverkar resultatet, som till exempel skiftande ensilagekvalitet. För att få ett mer säkert resultat skulle träckkonsistensen utan större svårighet kunna ha bedömts vid varje träckprovtagning, och ett medeltal för poängen över provperioden använts vid den statistiska analysen. Alla kor bedömdes dock vid samma tidpunkt under försöksperioderna, vilket gör att en variation mellan dagar inte borde ha kunnat påverka det totala bedömda resultatet.

Foderstaterna med högre koncentration av magnesium gav högre magnesiumkoncentrationer i våmvätskan, medan kaliumhalten i fodret inte påverkade magnesiumkoncentrationen. De uppmätta pH-värdena i våmmen (6,4-6,7) är normala för mjölkande kor vilket tyder på att proverna inte kontaminerats med buffrande saliv vid svalgsondningen, något som annars kan vara en felkälla då provtagning på våmvätskan utförs med hjälp av våmsvalgsondning jämfört med att använda fistulerade djur. Tillförsel av den högsta nivån av kaliumbikarbonat hade en höjande effekt på pH-värdet i våmmen, från 6,52 till 6,68. Kaliumbikarbonat kan användas i praktisk utfodring som buffert för att minska risken för pH-sänkningar i våmmen hos mjölkkor som får stärkelsesrika foderstater, varför detta resultat inte var oväntat.

Kaliumbikarbonattillförsel visade sig också höja pH-värdet i urinen med i genomsnitt 0,1 enhet, medan en ökad mängd kaliumbikarbonat från 10 till 20 g/kg ts i foderstaten inte påverkade urinens pH-värde signifikant. Tillförsel av magnesiumoxid visade sig ha en svagt signifikant sänkande effekt på pH i urinen, från 8,19 till 8,15, något som vi inte kan förklara. Även magnesiumoxid används i foderstater till mjölkkor för att ge en buffrande effekt i våmmen, och därigenom höja fetthalten på mjölken.

Våmsvalgsosondningen under period 4 utfördes en timme tidigare än under de andra perioderna, med start klockan 9 istället för 10. Då korna fodrades klockan 9 kan detta vara en förklaring till den signifikanta effekten av period på pH-värdet i våmmen som kunde påvisas, då medel-pH under period 4 låg på 6,4 istället för 6,6-6,7 som under de andra perioderna. Eftersom pH i våmmen inte mättes under de två första perioderna minskar säkerheten i resultatet. Även medelmagnesiumhalten i våmmen var högre vid mätningen period 4 än vid de andra mätningarna, bortsett från period 6. Andra studier har visat på en ökning av magnesiumhalten i våmmen efter utfodring (Jittakhot, 2004a, b), baserat på ett genomsnitt av mätningar ett antal timmar efter utfodring. En förklaring till de högre värdena under period 4 i detta försök kan vara att magnesiumet inte hunnit bli absorberat av våmväggen, i samma utsträckning som vid de andra svalgsosondningarna. Resultatet hade varit säkrare om fler prover på våmvätskan hade tagits vid olika tillfällen.

Eftersom korna var relativt långt fram i laktationen sjönk mjölmängden kontinuerligt hos alla kor under försöket. Med ledning av detta kan det antas att den observerade periodeffekten på den totala dagliga magnesiumutsöndringen i mjölken framför allt var en effekt av en minskad mjölmängd under försöket snarare än en periodeffekt på koncentrationen av magnesium i mjölken. Koncentrationen av magnesium i mjölken påverkades inte signifikant av vare sig kaliumintag eller magnesiumintag, och då den varierade mycket lite mellan korna användes ett genomsnitt över alla uppmätta koncentrationer vid beräkning av kornas dagliga förluster av magnesium via mjölken för att få ett säkrare värde och minimera effekten av eventuella mätfel. En samspelseffekt av kalium och magnesium både på magnesiumkoncentrationen i mjölken och på den dagliga utsöndringen av magnesium i mjölk kunde påvisas. Orsaken till detta är oklar.

Det här försöket visade på lägre halter av magnesium i mjölk än vad litteraturen anger, i medeltal 0,09 g Mg/l mot angivet 0,12 – 0,15 (Martens & Schweigel, 2000; Spörndly, 2003). Även den genomsnittliga magnesiumhalten i blodplasman var i underkant av vad andra studier har visat. Detta kan bero på analysmetoden. I många av de tidigare studierna som ligger bakom de angivna värdena har atomabsorptions-spektrofotometri använts vid bestämning av magnesiumkoncentrationerna i vätskor. I detta försök användes ett analyskit med xylydyl-blått vid bestämning av magnesiumhalten i blodplasma, mjölk, urin och våmvätska. Olika analysmetoder kan ge olika nivåer på resultatet, och behöver därför inte alltid vara jämförbara.

Vissa av de analyserade parametrarna, till exempel den dagliga magnesiumutsöndringen i urin och den skattade smältbarheten av magnesium, visade tendenser till att ha sitt lägsta värde när korna fodrades med medelnivån av kalium. Då variationen var för stor för att signifikanta effekter av kaliumintaget på några av de analyserade magnesiumvärdena kunde påvisas är det svårt att veta om denna tendens beror på slumpmässiga faktorer eller om det finns någon fysiologisk bakgrund. Orsaken till att den högsta nivån av kalium skulle ge högre värden än medelnivån är också oklar. Flera tidigare studier har visat att en ökad kaliumnivå inte har så stor negativ påverkan på magnesiumabsorption och magnesiumbalans vid höga ursprungsnivåer av kalium. De högsta kaliumnivåerna i de studierna var dock avsevärt högre än nivåerna i det här försöket.

Då försöksperioderna var relativt korta, 14 dagar, och förperioderna inför varje försöksperiod endast var 9 dagar kan de individuella resultaten för varje ko vara påverkade av vilken behandling hon fick under den föregående perioden. Då behandlingsordningen var olika för varje ko och försöket utformat så att en behandling inte följdes av samma behandling mer än

en gång leder det till att en eventuell påverkan av föregående behandling inte borde ge effekt på det slutliga resultatet. Alla kor genomgick alla sex behandlingar, vilket ytterligare ökar säkerheten. Förperioden inför första provperioden var endast 5 dagar, men det påverkar troligtvis inte resultatet i någon större utsträckning eftersom alla korna behandlats och utfodrats på liknande sätt innan försökets start.

## **Slutsats**

Det här försöket visar inte samma negativa påverkan av höga kaliumnivåer på magnesiumabsorption och magnesiumbalans som tidigare studier har gjort. Då många av de tidigare studierna gjorts på sinkor eller får kan det finnas skillnader mellan olika djurkategorier både ur fysiologisk och ur utfodringsmässig synvinkel som leder till att upptaget av mineraler och den optimala balansen mellan olika mineraler skiljer sig åt. Ett ökat intag av kalium har i tidigare studier visat sig ha olika stor negativ påverkan på idisslars magnesiumabsorption beroende på både magnesiumkoncentrationen och koncentrationen av kalium i foderstaten, så den uteblivna effekten av kalium på kornas magnesiumabsorption i det här försöket kan bero på halterna av mineraler i foderstaten. Tidigare studier med motsvarande mineralintag har gjorts på sinkor.

Enligt det här försöket kan kaliumhalten i foderstaten till mjölkande kor ökas från 1,9 % till 3,7 % av ts utan påverkan på kons magnesiumupptag vid magnesiumnivåer som ligger på 1,9 - 4,3 g/kg ts, d.v.s. inom de svenska rekommendationerna.



## SAMMANFATTNING

Magnesium är ett av de viktigaste mineralerna i kroppen. Magnesium är delaktigt i många viktiga processer, till exempel energimetabolismen och proteinsyntesen. Brist på magnesium hos kor kan inträffa när de kommer ut på bete på våren, och kan yttra sig som kramper, s.k. beteskramp. En högproducerande mjölkko förlorar ofta mer magnesium enbart i mjölken dagligen än vad hon har tillgängligt i kroppen, och magnesium måste därför tillföras via fodret för att inte kon ska drabbas av bristsymtom.

Det huvudsakliga upptaget av magnesium sker i våmmen, och är inte hormonellt styrt. Överskottet utsöndras via njurarna i urinen. Smältbarheten för magnesium i vanliga fodermedel ligger på ca 20 %. Många studier, de flesta utförda med sinkor eller får, har kunnat visa att magnesiumupptaget i våmmen påverkas negativt av förekomsten av kaliumjoner. För att kompensera ett minskat upptag av magnesium kan extra magnesium tillföras i foderstaten då fodret innehåller mycket kalium.

Syftet med detta försök var att se hur magnesiumbalansen hos mjölkande kor påverkas av ökade nivåer av kalium i foderstaten och att komma fram till vid vilken nivå av kalium extra magnesium kan behöva tillsättas. Hypotesen var att korna vid ett ökat intag av kalium skulle absorbera en mindre mängd magnesium, men att detta skulle kompenseras vid tillförsel av extra magnesium.

Sex mjölkande kor fodrades med 2 nivåer av magnesium (1,9 och 4,3 g/kg ts) och 3 nivåer av kalium (19, 28 och 37 g/kg ts) under sex perioder i en romersk kvadrat. Prover på träck, urin och mjölk analyserades med avseende på magnesium för att kunna upprätta en magnesiumbalansräkning, även blodprover och prover på våmvätskan togs och pH mättes i urin och våmvätska. Dessutom bedömdes träckkonsistensen. För att beräkna den dagliga mängden träck och urin användes saltsyraolöslig aska respektive kreatinin som markörer.

Resultaten visade att korna utsöndrade mer magnesium i urinen då de fick extra magnesiumtillskott. Det visar att de då absorberade mer magnesium ur våmmen. Magnesiumkoncentrationen i våmvätskan var högre då korna fick magnesiumtillskott, liksom magnesiumkoncentrationen i blodplasman. Koncentrationen i mjölk påverkades inte av tillförsel av magnesium. Absorptionen, beräknad som andelen av intaget som utsöndrades i mjölk och urin, var lägre då korna fick extra magnesium, 12,1 % mot 16,4 %. Träckkonsistensen var lösare då korna fick magnesiumtillskott. Ingen påverkan av kaliumnivåerna på magnesiumbalansen kunde ses, men däremot hade kaliumnivåerna höjande påverkan på pH-värdet i både våmvätska och urin. Den beräknade absorptionen av magnesium var lägre än vad många tidigare studier visat.

Att effekten av kalium uteblev kan bero på att nivåerna av magnesium och kalium i detta försök inte var tillräckligt höga eller låga. Det kan också vara så att mjölkande kor är mindre känsliga för höga kaliumnivåer i fodret än vad sinkor och får är.

## LITTERATURFÖRTECKNING

- Chester-Jones, H., Fontenot, J. P. & Veit, H. P. 1990. Physiological and pathological effects of feeding high levels of magnesium to steers. *J. Anim. Sci.* Dec; 68 (12): 4400-4413
- Deetz, L. E., Tucker, R. E., Mitchell, G. E. & DeGregorio, R. M. 1982. Renal function and magnesium clearance in young and old cows given potassium chloride and sodium citrate. *J. Anim. Sci.* 55:680-689
- Fisher, L. J., Dinn, N., Tait, R. M. & Shelford, J. A. 1994. Effect of level of dietary potassium on the absorption and excretion of calcium and magnesium by lactating cows. *Can. J. Anim. Sci.* 74:503-509
- Greene, L. W., Fontenot, J. P. & Webb, K. E. 1983. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J. Anim. Sci.* 57:503-510.
- Gäbel, G. & Martens, H. 1986. The effect of ammonia on magnesium metabolism in sheep. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 55:278
- Jesse, B. W., Thomas, J. W. & Emery, R. S. 1981. Availability of magnesium from magnesium oxide particles of differing sizes and surfaces. *J. Dairy Sci.* 64: 197-205
- Jittakhot, S., Shonewille, J. T., Wouterse, H., Yuangklang, C. & Beynen, A. C. 2004a. Apparent magnesium absorption in dry cows fed at 3 levels of potassium and 2 levels of magnesium intake. *J. Dairy Sci.* 87:379-385
- Jittakhot, S., Schoneville, J. T., Wouterse, H., Ujittewaal, A. W. J, Yuangklang, C. & Beynen, A. C. 2004 b. Increasing magnesium intake in relation to magnesium absorption in dry cows. *J. Dairy Research* 71:297-303.
- Jittakhot, S., Schonewille, J. T., Wouterse, H. S., Yuangklang, C. & Beynen, A. C. 2004c. The relationships between potassium intakes, transmural potential difference of the rumen epithelium and magnesium absorption in wethers. *Brittish Journal of Nutrition.* 91:183-189.
- Lactamin, 2005. Produktblad Effekt Mg 33. Svenska Lantmännen ek. för. Lidköping
- Lantmännen, 2004. Produktblad Unik 52. Svenska Lantmännen ek. för. Lidköping.
- Littell R.C., Milliken G.A., Stroup W.W. & Wolfinger R.D. 1996. *SAS System for Mixed Models*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 633 pp.
- Martens, H. & Schweigel, M. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias; implication for clinical management. *Veterinary clinics of North America: Food animal practice.* Vol 16, Nr 2 Juli 2000
- Martens, H. & Schweigel, M. 2003. Influence of potassium on Mg- and Ca-metabolism in cows: effects and side effects of scientific research. *Schweiz Arch Tierheilkd.* Dec 145(12): 577-583.

NRC, National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. edition. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

O'Connor, A.M., Beede, D.K. & Wilcox, C. J. 1988. Lactational responses to dietary magnesium, potassium and sodium during winter in Florida. *J. Dairy Sci.* 71:971-981.

Ram, L., Schonewille, J. T., Martens, H., Van't Klooster, A. T. & Beynen, A. C. 1998. Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with different dietary magnesium concentrations. *J. Dairy Sci.* 81:2485-2492

SAS Institute Inc., 2000, SAS version 9.1. Cary, NC, USA.

Shoneville, J. T., Ram, L., Van't Klooster, A. T., Wouterse, H. & Beynen, A. C. 1997. Native corn starch versus either cellulose or glucose in the diet and the effects on apparent magnesium absorption in goats. *J. Dairy Sci.* 80:1738-1743

Shoneville, J. T., Van't Klooster, A. T., Wouterse, H. & Beynen, A. C. 1999. Effects of intrinsic potassium in artificially dried grass and supplemental potassium bicarbonate on apparent magnesium absorption in dry cows. *J. Dairy Sci.* 82:1824-1830

Soder, K. J. & Stout, W. L. 2003. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture: Potential relationship to ruminant performance and health. *J. Anim. Sci.* 81:1603-1610

Spörndly, R. 2003. Fodertabeller för idisslare. SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård. Rapport 257. Uppsala.

Stanbio Magnesium LiquiColor procedure no. 0130. Stanbio Laboratory, LP. 1261 North Main Street. Boerne, Texas.

Stone, M. J., Chowdrey, P. E., Miall, P. & Price, C. P. 1996. Validation of an enzymatic total magnesium determination based on activation of modified isocitrate dehydrogenase. *Clinical chemistry* 42:9 1474-1477.

Sunvold, G. D. & Cochran, R. C. 1991. Technical note: Evaluation of acid detergent lignin, alkaline peroxide lignin, acid insoluble ash, and indigestible acid detergent fiber as internal markers for prediction of alfalfa, bromegrass, and prairie hay digestibility by beef steers. *J. Anim. Sci.* Dec; 69(12): 4951 – 4955

Univar. Kaliumvätekarbonat, KA4585. Univar AB. Kalendergatan 26. Malmö.

Valadares, R. F. D., Broderick, G. A., Valadares Filho, S. C. & Clayton, M. K. 1999. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *J. Dairy Sci.* 82:2686–2696

Weiss, W. P. 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: Factors affecting digestibility of magnesium. *J. Dairy Sci.* 87:2167-2171

| Nr  | Titel och författare  | År   |
|-----|---|------|
| 215 | Whole crop barley and wheat harvested at three stages of maturity at two sites as baled and chopped silage<br>Influence on crop yield, chemical composition, fermentation pattern and losses with and without use of different silage additives in bales and silos<br>Sayed Shetia                                      | 2005 |
| 216 | Sensorisk stimulering under pågående mjölkning<br>Påverkan på mjölkproduktion, mjölksammansättning, frisättning av oxytocin och kortisol samt kornas beteende<br>Sensory stimulation during milking<br>Effects on milk production, milk composition, oxytocin, cortisol and behaviour in dairy cows<br>Dorotea Pedersen | 2005 |
| 217 | Ensiling experiment in bagged silage with 3 silage additives<br>Ensileringsförsök i slang med 3 olika ensileringsmedel<br>Cecilia Lundmark  | 2005 |
| 218 | Erfarenheter av utfodring med färsk vetedrank till grisar<br>Practical experiences of using wet-wheat distillers grains in diet for pigs<br>Anna Ericsson   | 2005 |
| 219 | Inhysning av struts<br>Ostrich housing<br>Ida Bergdahl  | 2005 |
| 220 | A study of Village Milking Centre in China<br>Maja-Lena Främling  | 2005 |
| 221 | Ekologiskt uppfödda kycklingar – en jämförelse mellan två olika foder<br>Organic rearing of broilers – a comparison between two feeds<br>Åsa Lagerstedt   | 2006 |
| 222 | Påverkas hästars intresse för människan av sociala och skötsel-mässiga aktiviteter?<br>Does social activity and management routines affect the horses interest for humans?<br>Lotta Sundqvist   | 2006 |
| 223 | Fodersammansättningens betydelse för tillväxt hos häst<br>Effects of diet composition on growth in foals<br>Petra Forsmark  | 2006 |
| 224 | Variation i växande halvblodshingstars viktökning och närings-utnyttjande<br>Rose-Mari Åkerström  | 2006 |
| 225 | Magnesiumstatus hos mjölkkor – en fältstudie<br>Magnesium status in dairy cows – a field study<br>Elin Briland  | 2006 |

I denna serie publiceras examensarbeten (motsvarande 10 eller 20 poäng i agronomexamen) samt större enskilda arbeten (10-20 poäng) vid Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges Lantbruksuniversitet. En förteckning över senast utgivna arbeten i denna serie återfinns sist i häftet. Dessa samt tidigare arbeten kan i mån av tillgång erhållas från institutionen.

---

**DISTRIBUTION:**  
**Sveriges Lantbruksuniversitet**  
**Institutionen för husdjurens utfodring och vård**  
**Box 7024**  
**750 07 UPPSALA**  
**Tel. 018-67 28 17**

---