

Kaliumtillståndet i mark och gröda— regionala mönster och betydelsen av jordart och modermaterial

Magnus Simonsson*, Jan Eriksson och Ingrid Öborn

Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Box 7014,
750 07 UPPSALA

*018-67 12 72, magnus.simonsson@mv.slu.se

Bakgrund

De senaste 20 åren har en markant nedgång skett i användningen av kaliumgödselmedel på svensk jordbruksmark (Öborn et al., 2005a). Nedgången är större än vad som skulle kunna förklaras med omläggningen till ekologisk odling eller av att mark tagits ur produktion. Det är sedan tidigare känt, att en del jordar kan bibehålla sitt förråd av utbytbar K ("växttillgängligt" K), även om tillförseln av K med gödsling är mindre än uttaget med skördeprodukter; andra jordar behöver istället mer än uttaget (Salomon, 1995; Heming, 2004). Detta beror på att vissa jordar levererar K genom kemisk vittring av markens mineral, medan i andra lakningsförlusterna överstiger frigörelsen genom vittring. Dessutom kan det på gårdsnivå förekomma förluster och ojämn fördelning av gödselmedlen, vilket gör att fält som används för vallodling kan ha en negativ kaliumbalans (tillförseln av K med gödselmedel mindre än skörden av K) även om gården som helhet har en positiv balans (Öborn et al., 2005b). Detta leder till svårigheter att styra kaliumgödslingen på ett sådant sätt att optimala halter i grovfodret uppnås. I vissa områden rapporteras kaliumhalterna i grovfodergrödan lägre än de 2–3 % av torrsubstansen (ts) som anses optimalt för tillväxten hos vallgrödor (Heimer, 2004). Å andra sidan kan alltför kraftig kaliumgödsling ge högre halt av K i grovfodret (Øgaard et al., 2001) än vad som är optimalt för husdjurens hälsa (Preston and Linsner, 1985; Spörndly, 1995).

Studier i långliggande bördighetsförsök (Andersson et al., 2007; Simonsson et al., 2007) tyder på att sorterade grovmojordar säkert kräver kaliumgödsling, medan de styva lerorna eventuellt klarar sig utan. Leriga jordar och lättleror utgör sannolikt en mellangrupp som skulle behöva studeras närmare, om man ska identifiera jordtyper där det långsiktigt kan bli problem om inte K tillförs från externa källor, såsom mineralgödselmedel, restprodukter etc. För att få ökad överblick har vi i den här studien skalat upp frågeställningen till det rikstäckande planet, genom att använda data från den *yttäckande rikskararteringen av mark och gröda* (även känd som "miljöövervakning av jordbruksmark"). Rikskararteringen utförs av SLU på uppdrag av Naturvårdsverket (Eriksson et al., 1997, 2000). Målet är att identifiera områden och jordarter som är problematiska när det gäller att producera vallgrödor med en optimal halt av K, och att få fram ett förbättrat underlag för skattningen av skördeprodukternas bortförsel av K i kaliumbalanserna.

Material och metoder

Sedan 1995 pågår den *yttäckande rikskararteringen av mark och gröda*. Ett andra drev omfattar prover tagna 2001, 2003, 2005 och 2007, sammanlagt drygt 1500 provpunkter. Den aktuella studien är utförd på parvisa mark och växtprover från 2001–2005 tagna på de 222 slumpvis utvalda provtagningsplatser som dessa år var bevuxna med vall. Inom

ramen för det aktuella projektet har vi analyserat vallgrödans totalhalt av Ca, Mg och K samt jordens på platsen kornstorlekssammansättning enligt pipettmetoden. Dessutom tillhandahöll Rikskarteringen en mängd andra data; av särskilt intresse är mullhalt, utbytbara katjoner, utbytbar och titrerbar aciditet samt CEC och basmättnadsgrad, K-AL, K-HCl och vallskördens storlek (kg ts ha^{-1}). Den sistnämnda är emellertid beräknad med ganska stor osäkerhet utifrån vikten på de prov som provtagarna samlade in inom de föreskrivna $4 \times 0,25 \text{ m}^2$ vid varje provpunkt. Enligt provtagningsinstruktionerna skulle vallprover av praktiska skäl samlas in 1–2 veckor före beräknad skördetidpunkt.

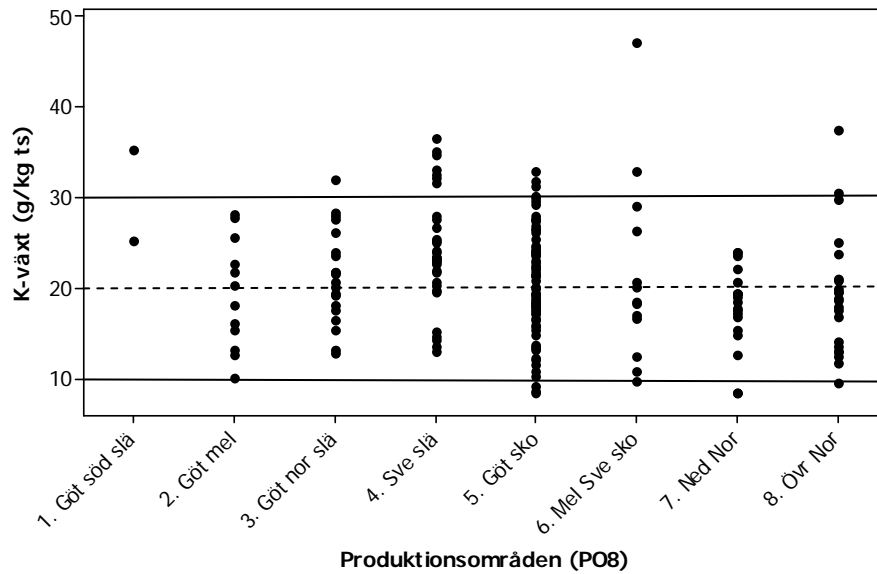
En tanke inför dataanalysen var, att gårdarnas djurtäthet kunde påverka tillståndet av K i mark och gröda, genom att K, och andra närsalter joner, eventuellt skulle nettoimporteras till djurtäta gårdar med inköpt foder. Från SCB fick jag till varje provpunkt uppgifter på den aktuella gårdens drift: åkerareal samt antalet djur av olika slag, varur kunde beräknas antal djurenheter enligt de i Miljöbalken uppställda kriterierna (för definition av djurenheter, se supplement 1). Med hjälp av dessa uppgifter beräknades en djurtäthet definierad som antal djurenheter på den aktuella gården dividerat med gårdens totala åkerareal. Om man antar att vallodling och stallgödselspridning i det långa loppet fördelas ungefär jämnt över hela gårdens åkerareal, uttrycker djurtätheten intensiteten i vallodling och tillförsel av närsalter spridda med stallgödseln på gården i genomsnitt.

Resultat och diskussion

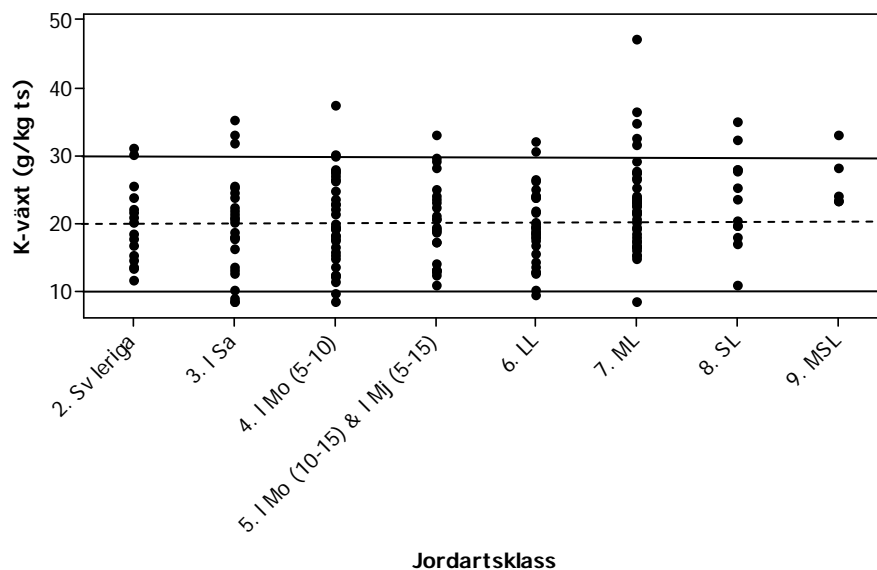
Kalium i grödan

Kaliumhalterna i andra drevets 222 vallprover låg till största delen inom intervallet 10–30 g/kg TS som är rekommenderat intervall i vallfoder för kor (Spörndly, 2000) och avgränsas av heldragna, horisontella linjer i figur 1. Endast 5,3% av observationerna föll under 10 g/kg, och 8,5% över 30 g/kg. Det mest slående resultatet är att ungefär hälften av halterna (48%) låg under 20 g/kg (streckad, horisontell linje i figur 1), som är undre gräns för det rekommenderade intervallet 20–30 g/kg TS. Med tanke på att grödproverna samlades in någon vecka före ordinarie beräknad skörd, är de uppmätta halterna troligen ingen underskattning av halterna i faktiskt skördat vallfoder; en tidig skördetidpunkt brukar kunna ge högre salter i växtsaften än en sen dito (se t.ex. Spörndly, 2000). Bland landets produktionsområden (PO8; se supplement 2) hade Övre och Nedre Norrland samt Mellersta Sveriges skogsbygder 60–67% av observationerna under 20 g/kg; för Götalands skogs- och mellanbygder är motsvarande siffra 51 respektive 41%; för Götalands norra samt Svealands slättbygder 41 respektive 28%. I Götalands södra slättbygder var bara två av de utslumpade provplatserna bevuxna med vall; det produktionsområdet kan därför inte utvärderas separat i den här undersökningen.

Om man istället grupperar data efter jordart, blir fördelningen något mera jämn. Hela omfånget i $K_{\text{växt}}$ finns representerat bland nästan alla jordarter; inte ens styv lera är någon garanti för att man automatiskt ska hamna över 20 g/kg (figur 2).



Figur 1. Kaliumhalt i vallgröda (g/kg TS) i Sveriges åtta produktionsområden (PO8). 1. Götalands södra slättbygder; 2. Götalands mellanbygder; 3. Götalands norra slättbygder; 4. Svealands slättbygder; 5. Götalands skogsbygder; 6. Mellersta Sveriges skogsbygder; 7. Nedre Norrland; 8. Övre Norrland.



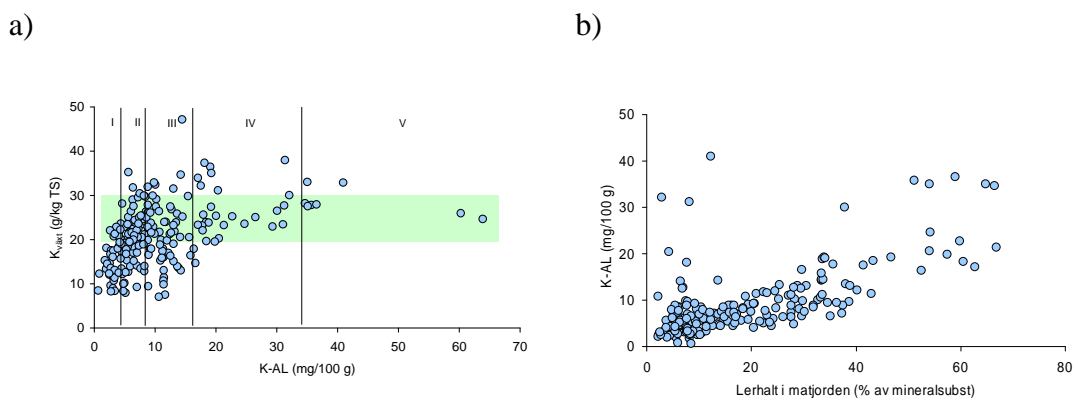
Figur 2. Kaliumhalt i vallgröda (g/kg TS) från jordar indelade i nio jordartsklasser: 1. Lerfria; 2. Svagt leriga jordar; 3. Lerig sand; 4. Lerig mo (5–10% ler); 5. Lerig mo (10–15% ler) & lerig mjäla (5–15% ler); 6. Lättleror; 7. Mellanlera; 8. Styv lera; 9. Mycket styv lera.

Kalium i marken

Som synes av figur 3a föreligger ett visst samband mellan K-AL i matjorden och halten av K i vallgrödan ($K_{\text{växt}}$): i de lägre till medelmåttiga K-AL-klasserna (I–III) finner man visserligen ett brett spann av K-halter i grödan, men i de bägge högsta (IV–V) nådde praktiskt taget alla vallprover upp till de 20–30 g/kg som anses optimalt för grödan ur tillväxtpunkt. En korrelationsmatris över alla undersökta variabler visade att utbyt-

bart kalium (i form av K-AL och K_{ex}), inte helt oväntat, var den variabel som $K_{växt}$ var allra starkast korrelerad till, både utbytbar kalium absolut och beräknat som andel av de utbytbara katjonerna. K-AL-talet är i sin tur ganska starkt kopplat till lerhalten (figur 3b). Detta tyder på att jordbrukets gödslingsåtgärder långt ifrån helt jämnat ut de skillnader i tillgången på utbytbar kalium, som är att vänta genom jordarterna skiftande förmåga att tillhandahålla kalium genom vittring.

Förekomsten av de lägsta K-AL-klasserna (I–II) varierade inte bara med jordart, utan också mellan olika produktionsområden (PO8). K-AL fanns analyserat på jord från alla provplatser inom drev 2, både dem med vall och dem med andra grödor vid provtagningen, sammanlagt 1 517 provplatser. I tabell 1 visas andelen provplatser, produktionsområde för produktionsområde, som hade K-AL-klass I–II. I grova drag känns mönstret igen från $K_{växt}$: Norrland och skogsbygderna har fler K-AL-fattiga jordar än slättbygderna i Götaland och, i synnerhet, Svealand. Om man istället ordnar proverna efter jordarter, blir resultatet ännu mera förutsägbart (tabell 2). Även om det är möjligt att gödsla sig till en hög K-AL-klass på en jord med låg lerhalt och låg katjonbyteskapacitet, är det tydligt att låga K-AL-värden främst kan väntas på lersvagare jordar. Samma tabell 2 visar jordartsvis andelen växtprover som föll under 20 g/kg. Uppenbarligen är det en hel del platser som når upp till K-AL-klass III eller högre, men som har $K_{växt}$ under 20 g/kg; detta framgår också av figur 3a. En uppgödsling till K-AL-klass III är alltså ingen garanti för att man ska uppnå 20 g/kg K i vallgrödan.



Figur 3. a) Ett signifikant samband ($r = 0,44^{***}$) förelåg mellan K-AL i matjorden och K-halt i vallgröda ($K_{växt}$). De vertikala linjerna anger gränserna för K-AL-klasserna I–V. Det skuggade området markerar 20–30 g/kg ts, vilket brukar anges som optimal K-halt i vallgrödan vid skörd. Data från andra drevets 222 vallprovplatser. b) K-AL-värdet var i sin tur ganska starkt påverkat av jordens lerhalt ($r = 0,65^{***}$).

Tabell 1. Antal jordprov och andel därav som hade låga K-AL-klasser (I–II) inom drev 2; ordnade per produktionsområde (PO8) och rankade efter andel jordar i klass I–II

Produktionsområde (PO8)	Antal prov	Andel K-AL-klass I-II
8. Övr Nor	60	70%
7. Ned Nor	82	63%
5. Göt sko	277	52%
6. Mel Sve sko	112	47%
2. Göt mel	161	39%
1. Göt söd slä	188	36%
3. Göt nor slä	288	25%
4. Sve slä	349	13%
Summa	1517	

Tabell 2. a) Antal provplatser inom drev 2 med jordarten bestämd och andelen därav som hade K-AL-klass I–II; b) antal provplatser som dessutom hade vall och andelen därav som hade $K_{växt}$ under 20 g/kg ts; alltihop ordnat per jordart (samma jordartskategorier som i figur 2)

Jordart	Antal prov (a)	Andel K-AL-klass I-II	Antal vallprov (b)	Andel $K_{växt}$ < 20 g/kg
2. Sv leriga	20	85%	16	50%
3. I Sa	52	73%	25	52%
4. I Mo (5-10)	42	67%	35	57%
5. I Mo (10-15) & I Mj (5-15)	59	68%	25	52%
6. LL	95	38%	32	66%
7. ML	130	10%	40	38%
8. SL	115	0%	13	38%
9. MSL	22	0%	5	0%
Summa	535		187	

Lämplig K-halt i grödan/fodret

Den som har en kaliumhalt på 10–20 g/kg i sin vallgröda är uppenbarligen i gott, eller åtminstone stort, sällskap. Utifrån det här materialet förefaller det rekommenderade intervallet, 20–30 g/kg för kaliumhalt i vallgröda, att ligga ganska högt. I datamaterialet var skördenivån signifikant korrelerad till lerhalten, men knappast till vare sig K-AL eller $K_{växt}$. Detta antyder att jordarten hade betydelse för grödans tillväxt, förmodligen via faktorer som vatten- och allmän näringstillgång, men att just kaliumtillgången knappast var skördebegränsande (även om den uppvisar ett visst samband med jordarten enligt vad som ovan beskrivits). Många av grödproven hade kaliumhalter mellan 10 och 20 g/kg, även vid K-AL-klass III; teoretiskt skulle man alltså enligt dessa resultat behöva behöva gödsla upp alla jordar till klass IV för att garantera 20 g K /kg. Mengel & Kirkby (1987) anger att kaliumgödsling i spannmål generellt bara ger påtaglig skördeökning, om halten utbytbar K i jorden är så låg som i K-AL-klass I–II, men att tvåhjärtbladiga växter kan kräva ett bättre kaliumtillstånd än gräsväxter. Det senare innebär för vallgrödornas vidkommande, att gräset gynnas på klövernens bekostnad i en blandvall med båda växtlagen, om det är skralt med kaliumtillståndet (Mengel and Kirkby, 1987).

Det är svårt att ange optimala halter av K i grödan, dels för att koncentrationen i grödan snabbt sjunker under tiden som den växer till, dels för att olika ämnen samspelar med varandra i växten (Robinson, 1985; Bergmann, 1992). Rekommendationen 20–30 kg/kg ts samstämmer på ett ungefär med flera författares uppfattning (t.ex. Robinson, 1985;

Bergmann, 1992; Mayland and Wilkinson, 1996). Jordbruksverkets riktlinjer för kalkning och gödsling (Albertsson, 2007) nämner inte explicit någon optimal kaliumhalt i grödan, men den rekommenderade kaliumgivan till slåttervall på jord med K-AL-klass I motsvarar 2–3% av skördad ts. Frågan är om man har tillväxthämning vid kaliumhalter på 10–20 g/kg. I svenska försök har en sänkning av ts-skörden i flera fall sammanfallit med K-halter i grödan under 20 g/kg ts (Jan Jansson HSH Sjuhärad, personlig kommunikation kring försöksserien L3-4022). I ett skotskt, 30-årigt odlingsförsök med och utan K-gödsling, men gödsling fullt ut med N och P, inträffade skördesänkningar hos rajgräs (*Lolium perenne* L.) först sedan K-halten i grödan sjunkit till 6 g/kg ts (Öborn et al., 2008).

Kaliumhalten är emellertid intressant inte bara för själva vallgrödan, utan också för de husdjur som ska äta den. För nötkreatur bör 10 g/kg vara tillräckligt (Mayland and Wilkinson, 1996; Spörndly, 2000), för får räcker lägre halter (Mayland and Wilkinson, 1996). Å andra sidan kan alltför höga halter kalium i fodret hämma husdjurens förmåga att ta upp magnesium i mag-tarmkanalen, om inte magnesiumtillgången samtidigt är riklig. Samtidigt har magnesium i sin tur betydelse för djurets förmåga att reglera kalciumkoncentrationen i blodomloppet; detta är särskilt kritiskt för mjölkkor i början av laktationen (t.ex. Goff, 2008). Det har därför förekommit idéer om en fodrets kritiska $K^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ -kvot. Men de näringsfysiologiska sammanhangen är komplicerade, och bland forskningsresultaten på området talar somliga för, andra emot, att det vore motiverat att definiera en kritisk kvot mellan dessa katjoner (Preston and Linsner, 1985).

K/Mg-kvot i jord

För jord, däremot, finns tumregler för hur mängderna av kalium och magnesium bör förhålla sig bland de utbytbara katjonerna, för att inte grödan ska bli lidande. Bertilsson (2007) anger högsta tillåtna K/Mg-kvot vid olika K-AL-klasser: 2,5 för klass I–II; 2,0 för klass III; 1,5 för klass IV–V. Tanken är att tillgången på utbytbart Mg^{2+} bör öka mer än proportionellt mot tillgången på utbytbart K^+ , annars lider grödan magnesiumbrist genom att kalium konkurrerar ut magnesium om upptag i växten. Det kan vara värt att påpeka att det i vårt material förelåg ett signifikant samband mellan K/Mg-kvot i jorden och samma kvot i grödan, men förklaringsgraden var synnerligen låg ($R^2 = 0,036$).

Tabell 3 visar antal jordprover som ligger över dessa kritiska kvoter mellan utbytbart kalium och magnesium i jorden (till grund för dem ligger förhållandet mellan K-AL och utbytbart Mg^{2+} i $BaCl_2$ -extrakt; den senare avviker enligt vår erfarenhet inte signifikant från Mg-AL). Enligt tabell 3a är förekomsten av höga K/Mg-kvoter ganska starkt kopplad till jordens K-AL-klass: ju högre K-AL-tal, desto större risk att jorden innehåller för litet utbytbart magnesium. Med data sorterade jordartsvis (tabell 3b) kan man skönja att höga K/Mg-kvoter är relativt ovanliga bland de lerigaste jordarterna (ML, SL, MSL), trots att dessa tenderade att ha högre K-AL-klass (tabell 2). Detta skenbart motsägelsefulla förhållande botten däri, att både utbytbart K^+ och dito Mg^{2+} var rätt starkt korrelerade till lerhalten ($r_{K-ex/lerhalt} = 0,67^{***}$; $r_{Mg-ex/lerhalt} = 0,75^{***}$). Detta tyder på att markens förmåga att tillhandahålla jonerna genom vittring i många fall bestämmer storleken hos de utbytbara förråden. ”Naturligt” höga K-AL-tal tenderar därigenom att åtföljas av gott magnesiumtillstånd, vilket håller K/Mg-kvoten nere på dessa jordar. Höga K/Mg-kvoter vore då snarast ett resultat av ensidig tillförsel av kalium genom gödsling.

Bland produktionsområdena är det svårt att se några tydliga mönster, utan både stor och liten förekomst av höga K/Mg-kvoter fanns representerade bland skogs-, mellan- och slättbygderna (tabell 3c). De allra högsta K/Mg-kvoterna återfanns på gårdar med låg djurtäthet. Andelen gårdar med potentiella problem med K/Mg-obalans enligt ovan utgjorde 10–14%, och de fördelade sig tämligen jämnt sett över olika djurtäthetsintervall (tabell 3d).

Tabell 3. Antal jordprov inom drev 2 och andel därav som hade för hög K/Mg; (a) per K-AL-klass

K-AL-klass	Antal prov totalt	Antal med hög K/Mg	Andel (%) med hög K/Mg
I	135	9	7
II	404	16	4
III	598	56	9
IV	330	74	22
V	48	19	40
Summa	1515	174	11

Tabell 3. Dito, (b) per jordart (inom drev 2 hade texturanalys gjorts på 535 jordar)

Jordart	Antal prov totalt	Antal med hög K/Mg	Andel (%) med hög K/Mg
2. Sv leriga	20	3	15
3. I Sa	52	7	13
4. I Mo (5-10)	42	10	24
5. I Mo (10-15) & I Mj (5-15)	59	8	14
6. LL	95	12	13
7. ML	130	12	9
8. SL	115	10	9
9. MSL	22	0	0
Summa	535	62	12

Tabell 3. Dito, (c) per produktionsområde

Produktionsområde (PO8)	Antal prov totalt	Antal med hög K/Mg	Andel (%) med hög K/Mg
1. Göt söd slä	188	31	16
2. Göt mel	161	33	20
3. Göt nor slä	287	15	5
4. Sve slä	349	35	10
5. Göt sko	276	36	13
6. Mel Sve sko	112	9	8
7. Ned Nor	82	10	12
8. Övr Nor	60	5	8
Summa	1515	174	11

Tabell 3d. Dito, (d) per djurtäthet

Djurenheter/ha	Antal prov totalt	Antal med hög K/Mg	Andel (%) med hög K/Mg
<0,10	188	27	14
0,10–0,25	179	19	11
0,25–0,50	213	24	11
0,50–1,00	303	29	10
>1,00	147	17	12
Summa	1030	116	11

Djurtäthet

Djurtätheten var i oväntat låg grad korrelerad till övriga undersökta parametrar. Bland andra drevets vallprovplatser var halterna av kalium och magnesium i växten svagt positivt korrelerade till gårdarnas djurtäthet, men större delen av halternas totala variationsomfång fanns representerad vid varje djurtäthet. Halterna utbytbar kalium respektive magnesium i marken var om möjligt ännu svagare kopplade till djurtätheten. Detta kommer sig troligen av att K-importen med foder är blygsam även på djurtäta gårdar. Enligt Gustafson m.fl. (2007) utgjorde inomgårdscirkulation 80–90% av det totala flödet av K vid försöksgården i Öjebyn.

Slutsatser

- Kaliumhalterna i flertalet (86%) av de analyserade vallproverna låg ganska jämnt fördelade inom intervallet 10–30 g/kg ts; värden under respektive över 20 g/kg ts var ungefär lika vanligt förekommande.
- Kaliumhalter under 20 g/kg ts var särskilt vanliga i Norrland och i Svealands och Götalands skogsbygder. Att dessa låga halter inverkat negativt på skördens går inte att påvisa utifrån det aktuella datamaterialet.
- K-AL-värdet var positivt korrelerat med lerhalten, vilket tyder på att kaliumgödslingen inte fullt ut kompenserat för jordarnas varierande förmåga att leverera växttillgängligt K genom vittring.
- Djurtätheten inverkade inte påtagligt på K-halten i vare sig mark eller gröda.

Publikationer, övrig resultatförmedling

Vitala delar av de data som ligger till grund för den här rapporten fanns tillgängliga först under våren 2008; detta gäller framförallt jordartsdata från den yttäckande rikskarteringen av mark och gröda samt djurtäthetsuppgifter från Statistiska Centralbyrån. Denna rapport är därför just nu det enda som finns skrivet kring resultaten av den här undersökningen. Vi för diskussioner med kontaktpersoner inom rådgivningsbranschen (i första hand Ulrik Lovang på Lovangs lantbrukskonsult AB i Vikingstad) inför en kommande publicering riktad till odlare och rådgivare. Inom vår forskargrupp har vi dessutom några ytterligare färskas publikationer, som kommer att kunna lämna kompletterande material till det här i form av trender hos kalium i mark och gröda, samt omfattningen av vittring och fixering av kalium, under kontrollerade försöksförhållanden i fält (Andersson et al., 2007; Andrist-Rangel et al., 2007; Simonsson et al., 2007).

Referenser

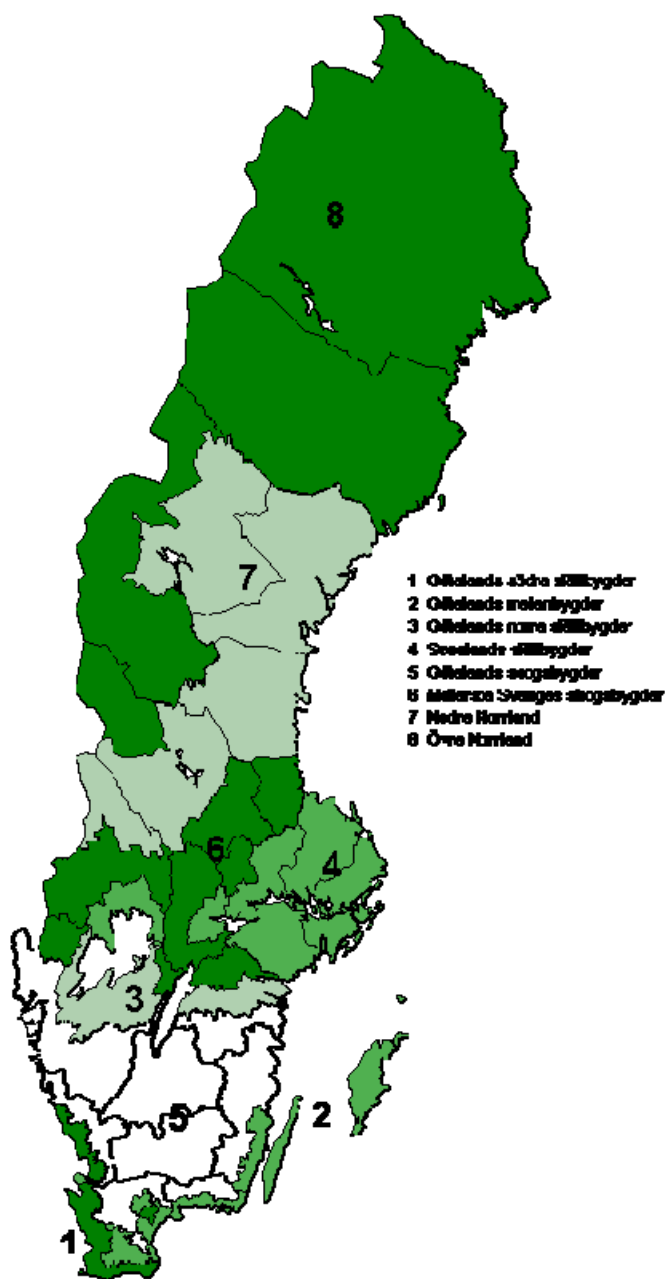
- Albertsson, B., 2007. Riktlinjer för gödsling och kalkning 2008. Rapport 2007:22. Jordbruksverket, Jönköping.
- Andersson, S., Simonsson, M., Mattsson, L., Edwards, A.C. and Öborn, I., 2007. Response of soil exchangeable and crop potassium concentrations to variable fertilizer and cropping regimes in long-term field experiments on different soil types. *Soil Use Manage.* 23, 10–19.
- Andrist-Rangel, Y., Edwards, A.C., Hillier, S. and Öborn, I., 2007. Long-term K dynamics in organic and conventional mixed cropping systems as related to management and soil properties. *Agriculture Ecosystems and Environment* 122, 413–426.
- Bergmann, W., 1992. *Nutritional Disorders of Plants*. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.
- Eriksson, J., Andersson, A. and Andersson, R., 1997. Tillståndet i svensk åskermark. SNV-rapport nr 4778. Naturvårdsverket, Stockholm.

- Eriksson, J., Stenberg, B., Andersson, A. and Andersson, R., 2000. Tillståndet i svensk åkermark och spannmålsgröda. SNV-rapport nr 5062. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Goff, J.P., 2008. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *Vet. J.* 176, 50–57.
- Gustafson, G.M., Salomon, E. and Jonsson, S., 2007. Barn balance calculations of Ca, Cu, K, Mg, Mn, N, P, S and Zn in a conventional and organic dairy farm in Sweden. *Agriculture Ecosystems and Environment* 119, 160–170.
- Heimer, A., 2004. Kalium i ekologiskt lantbruk. Broschyr för kurspärmen "Ekologisk växtodling". Jordbruksverket, Jönköping.
- Heming, S.D., 2004. Potassium balances for arable soils in southern England 1986–1999. *Soil Use Manage.* 20, 410–417.
- Mayland, H.F. and Wilkinson, S.R., 1996. Cool-Season Forage Grasses. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. 165, pp. 191
- Mengel, K. and Kirkby, E.A., 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern.
- Preston, R.L. and Linsner, J.R., 1985. Potassium in animal nutrition. In: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, pp. 595–617.
- Robinson, D.L., 1985. Potassium nutrition of forage grasses. In: Munson, R.D. (Ed.), Potassium in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison, USA, pp. 895–914.
- Salomon, E., 1995. Long-term effects of potassium application on yield and soil from three experimental fields in Sweden. *Swedish Journal of Agricultural Research* 25, 119–127.
- Simonsson, M., Andersson, S., Andrist-Rangel, Y., Hiller, S., Mattsson, L. and Öborn, I., 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma* 140, 188–198.
- Spörndly, R., 1995. Fodertabeller för idisslare 1995. Rapport 235. Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet, SLU.
- Spörndly, R., 2000. Betydelsen av mineralämnen och spårelement i vallfoder. *VäxtEko.* Jordbruksverket/SLU.
- Öborn, I., Andrist-Rangel, Y., Askegaard, M., Grant, C.A., Watson, C.A. and Edwards, A.C., 2005a. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use Manage.* 21, 102–112.
- Öborn, I., Edwards, A.C. and Hillier, S., 2008. Potassium dynamics and contribution from soil resources in a 30 year grass rotation experiment. Eurosoil Conference 2008, contribution No. 2008-A-400, Wien.
- Öborn, I., Modin-Edman, A.-K., Bengtsson, H., Gustafson, G.M., Salomon, E., Nilsson, S.I., Holmqvist, H., Jonsson, S. and Sverdrup, H., 2005b. A systems approach to assess farm-scale nutrient and trace element dynamics: A case study at the Öjebyn Dairy Farm. *Ambio* 34, 301–310.
- Øgaard, A.F., Krogstad, T. and Løes, A.-K., 2001. Potassium uptake by grass from a clay and a silt soil in relation to soil tests. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 51, 97–105.

Supplement 1: Djurenheter

Djurenheterna enligt Miljöbalkens kriterier finns på Jordbruksverkets Internet-sidor (se <http://www.sjv.se/amnesomraden/vaxtmiljovatten/vaxtnaringochgodsel/bestammelser/tilstandochanmalanfordjurhallningmm.4.7502f61001ea08a0c7fff18804.html#Swingtabell>, besökt 2008-06-27):

Supplement 2: Produktionsområden (PO8)



Sveriges jordbruksproduktionsområden, de s.k. PO 8; källa:
http://www.scb.se/templates/Publikation_169361.asp (besökt 2008-05-08)