

Humanurin som gödselmedel

**– växtnäring, spridningsteknik
och miljöeffekter**

*Human urine as fertiliser – plant nutrients, application
technique and environmental effects*

Anna Richert Stintzing
Lena Rodhe
Helena Åkerhielm

© **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2001**

Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning.....	7
Summary.....	8
Problembeskrivning.....	9
Syfte	10
Litteraturgenomgång.....	10
Urinsortering.....	10
Humanurin	11
Kvävet i humanurin	12
Urin som gödselmedel.....	12
Hur påverkas skördarnas storlek vid gödsling med urin?.....	13
Vilket växtnäringsutnyttjande får man med humanurin?.....	14
Eventuella negativa effekter på grödan vid användning av humanurin....	15
Spridningsteknik	16
Ammoniakavgång.....	18
Utlakning av kväve i mark.....	18
Övriga miljörisker vid spridning av humanurin	18
Genomförande.....	20
Försöksplatsen.....	20
Fältplan.....	20
Väderlek.....	21
Gödselns egenskaper	22
Spridningsteknik	23
Ammoniakavgång.....	23
Gödselspridning.....	24
Provtagning.....	25
Markkartering.....	25
Kväveprofil.....	25
Resultat.....	26
Ammoniakavgång.....	26
Totala förluster, vårspridning.....	26
Kumulativa förluster, vårspridning.....	27
Totala förluster, spridning växande gröda	28
Avkastning.....	29
Giva.....	29

Teknik	32
Tidpunkt.....	32
Kväveupptag i gröda.....	33
Markens innehåll av mineralkväve	35
Växtnäringsbalans och växtnäringsutnyttjande	36
Praktiska erfarenheter från projektet	37
Diskussion.....	38
Humanurin som växtnäringskälla	38
Spridningsteknik	39
Ammoniakavgång.....	39
Växtnäringsutnyttjande.....	39
Framtida studier	40
Slutsatser	40
Referenser.....	41

Förord

Det finns många utmaningar med nya system för hantering av avlopp. En av dessa utmaningar är att få gödselmedlen accepterade inom lantbruket. För att åstadkomma detta krävs en grundligt genomförd forskning om växtnäringseffekter och konsekvenser för produktion och miljö. Humanurin är ett gödselmedel som hittills inte har varit väl känt inom lantbruket. Denna rapport bidrar till att öka kunskapen om humanurin som gödselmedel inom lantbruket.

Stockholm Vatten har under perioden 1996-2000 drivit ett projekt med finansiering från Stockholms läns landsting, Naturvårdsverket, Byggforskningsrådet, AB Stockholmshem, HSB Riksförbund och Stockholm Vatten AB, med syfte att undersöka humanurin som gödselmedel för lantbruk omkring Stockholm och för att öka kunskapen om hur urinsorterande avloppssystemen fungerar. Projektet delades in i tre delar; ”Smittskydd”, ”Miljöpåverkan och resurshushållning” samt ”Tekniska och socioekonomiska aspekter”. I denna skrift redovisas resultat som erhållits inom delprojektet ”Miljöpåverkan och resurshushållning”. Resultaten från alla delprojekt presenteras i rapporten ”Urinsortering – en del i kretsloppet”, som kan beställas från Byggforskningsrådet.

Vid JTI har många personer varit involverade under projektets gång. Forskningsledarna Staffan Steineck och Lena Rodhe har planerat projektet i stort. Under genomförandet har Lena Rodhe ansvarat för spridningsteknik och mätning av ammoniakavgång. Forskningsledare Anna Richert Stintzing har ansvarat för växtnäringstudierna i fält, förutom under det första året då forskningsassistent Helena Elmquist utförde den delen. Fältförsöket har genomförts med hjälp av flera medarbetare från JTI:s stallgödselgrupp. Anna Richert Stintzing har haft huvudansvaret för författandet av denna rapport med hjälp av Lena Rodhe och forskningsassistent Helena Åkerhielm.

Till alla som bidragit till projektets genomförande riktas ett varmt tack! Speciellt vill vi tacka miljö- och utvecklingschef Gunilla Brattberg och projektledare Lennart Qvarnström vid Stockholm Vatten AB för ett gott samarbete.

Ultuna, Uppsala i juli 2001

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

En stor del av de växtnäringsämnen som människan utsöndrar återfinns i urinen, vilket gör den intressant att sortera ut och använda som gödselmedel i jordbruket. Genom källsortering av humanurin i toaletten kan lösliga växtnäringsämnen som kväve, fosfor och kalium avskiljas på ett tidigt stadium. Lantbruket är en viktig länk i kretsloppet stad och land, och lantbrukarens acceptans för restprodukter från samhället är viktig för att kunna sluta kretsloppet. För att uppnå detta och för att recirkulation av stadens restprodukter till jordbruket ska kunna ske effektivt krävs kunskap om hur humanurin ska hanteras i lantbruket vad gäller teknik, växtnärings-effekt och miljöpåverkan.

Under åren 1997-1999 genomförde JTI fältförsök med syfte att undersöka hur humanurinen fungerar som gödselmedel i lantbruket och dess påverkan på korngröda, mark och miljö. I försöken studerades effekten av humanurin utspridd med olika tekniker och vid olika tidpunkter med avseende på växtnärings-effekt, ammoniakavgång efter spridning samt restkväve i marken efter skörd. Försöken var förlagda vid Bornsjön i Södermanland. Växtnäringsbalanser på fältnivå utfördes för gödsling med humanurin respektive mineralgödsel.

Resultaten från försöken visar att humanurin är ett snabbverkande gödselmedel som kan ersätta mineralgödsel i produktion av spannmål. Analyser av urinens innehåll visade att andelen ammoniumkväve var hög, ända upp till 80-100 % av totala kväveinnehållet. I försöken jämfördes skörderesultaten vid gödsling med humanurin med en kvävestege med mineralgödsel. Beräkningar av skörderesultaten visade att gödsling med ca 100 kg kväve per hektar med humanurin gav en skörd som motsvarade ca 70-100 % av vad 100 kg kväve per hektar med mineralgödsel gav.

Kväveförluster i form av ammoniak uppmättes efter spridning dels på våren i samband med vårbruket, dels vid spridning i växande gröda. Vid vårspridning var förlusterna i genomsnitt över de tre åren ca 5 % av utspridd mängd kväve när urinen bandspridits och harvats ned fyra timmar efter spridning. Som högst uppmättes en förlust strax under 10 % vid spridning av 60 ton per hektar på våren. Vid direkt nedmyllning av urinen med släpfbillar på våren var ammoniakavgången låg, endast ca 1 % av utspridd mängd kväve. Vid spridning i växande gröda med bandspridning respektive myllning med släpfbillar var ammoniakförlusterna knappt mätbara.

Vid spridning i växande gröda kunde inga negativa effekter på grödan upptäckas. Detta innebär att spridningstidpunkten kan sträckas från sådd fram till att grödan har nått en höjd av 20-30 cm. Försöken visar dock att sen tillförsel av humanurin bör kombineras med en startgiva med kväve på våren.

Mängden restkväve som uppmättes i marken efter avslutat växtupptag var inte högre där humanurin hade använts än vid gödsling med mineralgödsel. Beräknade växtnäringsbalanser visade dock på en något högre restpost av kväve i matjorden i humanurinled än vid gödsling med mineralgödsel. Detta överskottskväve kan ha lagrats in i markens organiska material, förlorats genom denitrifikation eller lakats ut vid annat tillfälle.

JTI har utfört studierna på uppdrag av Stockholm Vatten AB, som har finansierat arbetet.

Summary

A large proportion of the plant nutrients that human beings excrete is found in the urine, which makes it interesting to sort and recycle the urine as fertiliser in agriculture. Urine is collected in source separating toilet systems.

Agriculture is an important link in the recirculation of nutrients between urban and rural areas. Acceptance from the farmer is of great importance when new systems for handling of human waste are implemented. In order to achieve this acceptance, knowledge is needed of the effects of human urine as a fertiliser in crop production, environmental impact as well as appropriate handling technique.

A field trial was carried out by JTI during 1997-1999 with the purpose of investigating human urine as a fertiliser in agriculture and the effects on a crop of barley, soil and environment. In the trial different spreading techniques, and times for application were studied concerning yield, ammonia losses, and risk for nutrient leakage. The experimental site was situated south of Stockholm. Also, balances on field level were made concerning plant nutrients in order to compare human urine and mineral fertilisers.

The results from the trials show that human urine is a quick acting fertiliser that can replace mineral fertiliser in production of cereals. Analysis of the nutrient content of the urine shows that the part of ammonia nitrogen was as high as 80-100% of the total nitrogen content. The calculated effect of human urine showed that an application of 100 kg nitrogen per hectare with human urine gave a yield that was 70-100% of the yield produced with 100 kg nitrogen in mineral fertiliser per hectare.

Nitrogen losses in the form of ammonia were measured after spreading in spring and at application of urine in growing crop. At spring application the losses were, in average over three years, 5% of applied nitrogen. The urine was band spread with trailing hoses 0.25 cm apart and incorporated four hours after spreading by harrowing. The largest losses amounted to 10% of applied nitrogen, which was measured after an application of 60 tonnes of urine per hectare in spring. The losses were very low, close to 1% of applied nitrogen, when the urine was incorporated directly into the soil by band spreading with trailing shoes. Hardly any emissions could be detected when the urine was applied in growing crop.

No negative effects could be noticed when the urine was spread in growing crop. This means that the time for application can be extended from sowing until the crop is 20-30 cm high. The result shows that late application during the growing season should be combined with a starter of mineral nitrogen in the spring.

The levels of residual mineral nitrogen in the soil after harvest were on the same level in plots fertilised with human urine as in plots fertilised with mineral fertiliser. However, plant nutrient balances showed that there were larger amounts of nitrogen left in the soil after fertilisation with human urine than after mineral fertiliser. This nitrogen may be stored in the organic soil pool of nitrogen, or may be lost through leakage or denitrification.

The studies were carried out by JTI and financed by Stockholm Water Company (Stockholm Vatten AB).

Problembeskrivning

Svenskt jordbruk producerar livsmedelsråvara som brödsäd, kött, ägg, grönsaker m.m. Växtnäringsinnehållet i flödet av livsmedelsråvaror från jordbruket beräknas motsvara 67 200 ton kväve och 14 600 ton fosfor per år (Steineck m.fl., 2000). I bild 1 visas flödet av livsmedelsråvaror från jordbruket över livsmedelsindustrin där råvaran förädlas för konsumtion och ca 20 % blir avfall. Livsmedlen går till konsumenter i tätort, större och mindre samhällen och enskilda hushåll på landet.

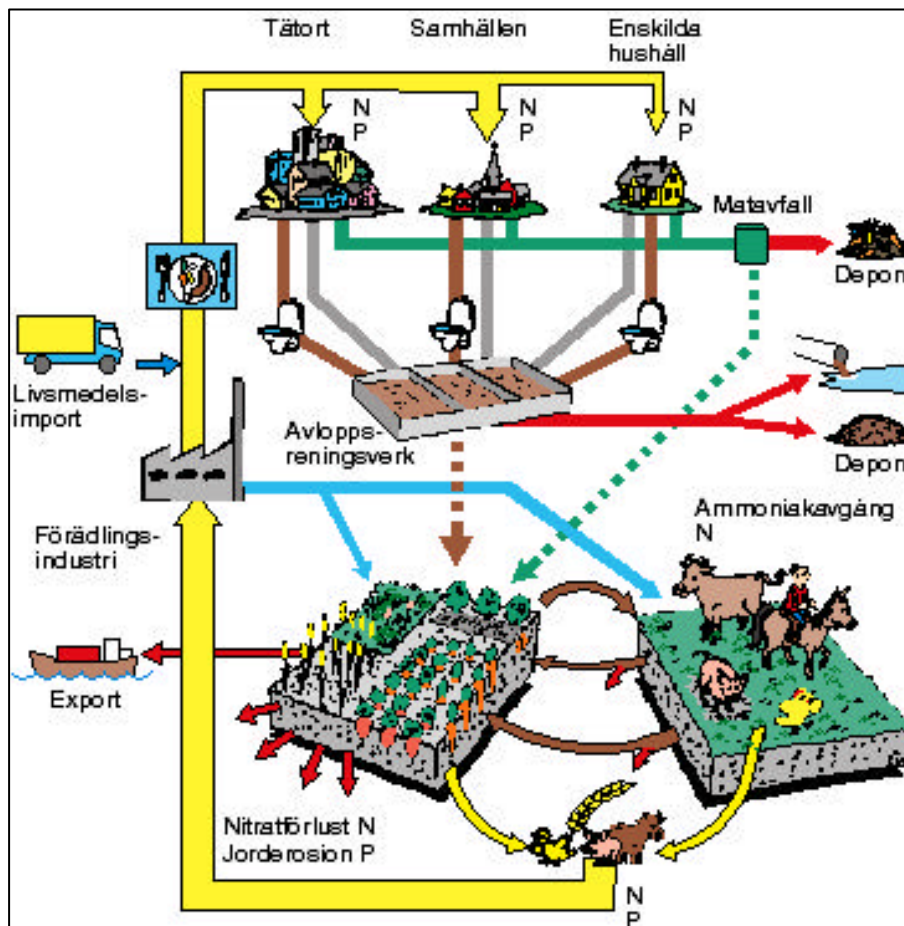


Bild 1. Flöden av växtnäring och det brutna kretsloppet.

Det mesta av växtnäringsinnehållet i maten passerar människan och går ut via avloppen. Vid reningsprocessen förloras en stor del av det kväve som ingår i avloppsvattnet antingen med utgående vatten till sjöar, vattendrag och hav eller via denitrifikation i reningsverken. I kommunala reningsverk fastläggs en stor del av fosfor i slammet men enskilda avlopp står för en stor del av de fosforförluster som sker idag. Av de 237 000 ton avloppsslam som produceras varje år i Sveriges reningsverk återfördes 1995 endast 30 % till jordbruket (SCB, 1999). Under hösten 1999 blossade en ny debatt om avloppsslam till åkermark upp. Orsaken till detta var att man konstaterat innehåll av bromerade flamskyddsmedel och silver i slammet. Näringen ställde sig tveksamma till användandet av avloppsslam och osäkerhet råder fortfarande angående nuvarande och framtida användning av avloppsslam.

I kretsloppet mellan livsmedelsproducent och konsument står urin och fekalier för den största delen av det totala växtnäringens flödet. Av dessa två innehåller urinen merparten av växtnäringen. (Palm m.fl., 2000) Trots att urinen bidrar med den största andelen växtnäring till hushållens spillvatten utgör den mindre än 1 % av det totala flödet av spillvatten (Jönsson m.fl., 2000). Urinen har beräknats innehålla ca 80 % av det totala kväveinnehållet i hushållens spillvatten.

Dagens avloppssystem uppfyller inte kraven på recirkulation då växtnäringen inte återförs till jordbruket. Detta gör att det finns ett behov av nya avloppssystem som uppfyller höga krav på hygien, miljö och kretslopp. I kretsloppet har lantbruket en central roll och utan acceptans för gödselmedel från samhället minskar möjligheterna till recirkulation avsevärt. Det är därför viktigt att utvecklade system ger gödselmedel med en kvalitet som är användbar i jordbruket och att effekterna av dessa produkter på mark och gröda utreds.

Syfte

Syftet med detta projekt var att studera verkan av kväve i humanurin på kärnskörd och grödans kvalitet samt att bedöma kvävetets verkningsgrad, dvs. se hur stor andel av tillfört kväve som återfinns i skörden. I syftet med undersökningen ingick också att bestämma ammoniakavgången efter spridning på åkermark och att uppskatta risken för utlakning av kväve. Försöket skall även utmytna i konkreta rekommendationer rörande lämplig spridningsteknik och spridningstidpunkter för humanurin.

Litteraturgenomgång

Sverige är ett av de länder i världen som har kommit längst med att bygga ett kretsloppssamhälle där rena restprodukter från människa och hushåll används både som energi- och växtnäringsskälla. Med rena restprodukter menas att avfallet inte innehåller eller tillför odlingssystemet främmande ämnen som tungmetaller, kemikalier etc. Vid skapandet av nya kretsloppsanpassade lösningar skall dessa vara både hygieniska och bidra till en minskad miljöbelastning.

Om all urin och fekalier från människor används som gödselmedel i jordbruket och inga förluster sker under hanteringen motsvarar kvävet i urinen en femtedel av den mängd kväve i handelsgödsel som enligt SCB (1999) användes i svenskt jordbruk under 1997. När det gäller fosfor har en kraftig uppgödning sedan 1960-talet byggt upp ett fosforkapital i åkermarken. Svenska jordar innehåller därför, fransett regionala obalanser, tillräckligt med växttillgänglig fosfor för att det skall räcka att gödsla med lika mycket fosfor som bortförs med livsmedelsråvaran

Urinsortering

Urinsortering är en av flera lösningar som prövas för att skapa system för att återföra växtnäring från mänskliga restprodukter till jordbruksproduktion. Genom att skilja ut urinen innan den blandas med fekalier och annat avloppsvatten kan urinen tas till vara som gödselmedel. Urinsorterande toaletter är uppbyggda av två delar, med en främre del för urin och en bakre del för fekalier, se bild 2. Vid spolning av urinskålen åtgår mycket små vattenmängder och beräkningar som

gjorts som visar att vattenförbrukningen kan minska med 48 % jämfört med om man installerat en vanlig toalett (Jönsson m.fl., 1998).

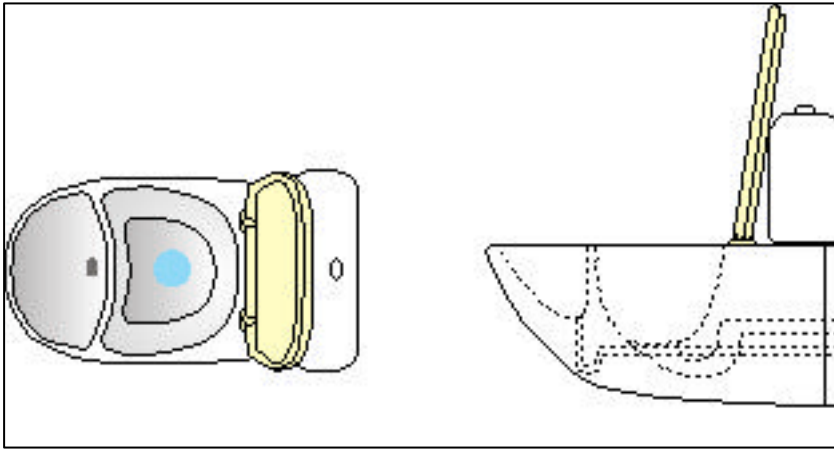


Bild 2. Urinsorterande toalett.

Urina leds i en separat ledning och samlas upp i en tank för mellanlagring. För att minska eller eliminera eventuella patogener i urinen bör den lagras innan spridning. De faktorer som ökar reduktionen av patogener vid lagring är hög temperatur, hög kvävekoncentration, högt pH och lång lagringstid (Höglund, 2001).

En människa utsöndrar ca 1-1,5 liter urin per dygn, vilket ger en årlig produktion i Sverige på mellan 3 och 5 miljoner ton urin (Steineck m.fl., 2000). Vid spolning späds urinen med vatten och mängden urinlösning som erhålls beror på vilken toalettstol som används och hur mycket spolvatten som åtgår vid spolning av urinskålen. Mängden urinlösning som samlas upp i ett bostadsområde beror också på hur stor del av dygnet som personerna befinner sig i hemmet. (Vinnerås, 1998; Jönsson m.fl., 2000).

Humanurin

Hos en vuxen människa lagras inte kalium, fosfor och kväve in i kroppen. Människan tar bara upp energin i födan och lämnar via urin och fekalier ifrån sig den växtnäring hon äter. Av kvävet återfinns ca 85 % i urinen och 15 % i fekalierna och av fosfor återfinns ca 65 % i urinen och 35 % i fekalierna (Steineck m.fl., 2000).

Humanurinens innehåll av växtnäringsämnen varierar beroende på intaget av födoämnen. En vegetarian konsumerar mindre kväve än en allätare och lämnar därmed ifrån sig mindre mängd kväve i urin och fekalier. Däremot innehåller vegetarianens urin och fekalier mer kalium jämfört med allätarens på grund av ett större intag av kalium via grönsaker. I bild 3 finns en jämförande beräkning av vegetarianens respektive allätarens utsöndring av växtnäringsämnen under ett år. Denna beräkning grundade sig på två matsedlar, vilket gör att mängden utsöndrad växtnäring skiljer sig från schabloner som används allmänt. I projektet källsorterad humanurin i kretslopp antas att en person, via urin och fekalier, utsöndrar 4,6 kg N, 0,6 kg P och 1,3 kg K per år (Jönsson m.fl., 2000).

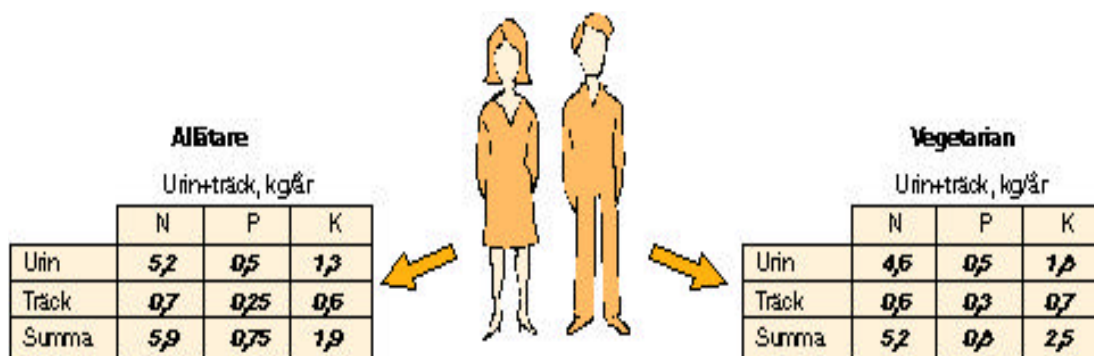
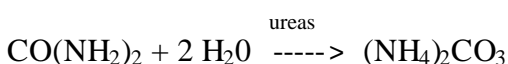


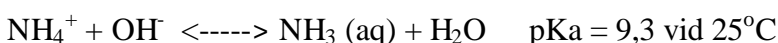
Bild 3. Växtnäringsflöden för allätare respektive vegetarian, kg/person och år.

Kvävet i humanurin

När urin utsöndras förekommer 75-90 % av kvävet främst i form av urea. Resterande kväve förekommer som ammonium, ammoniak och kreatinin. Vid lagring bryts urea ned enligt följande formel till ammoniumkarbonat med hjälp av enzymet ureas.



Andelen ammonium av totalkvävet i urinen ökar till 85-100 % samtidigt som pH stiger till ca 9. I samband med bildning av ammonium övergår också en del ammonium till ammoniak. Jämvikten mellan dessa är starkt pH-beroende och andelen ammoniak ökar vid högre pH enligt följande formel.



Ammoniak i lösning står också i jämvikt med ammoniak i luften. Vid högre koncentration i lösningen och vid högre temperaturer ökar andelen ammoniak i luften. Vid luftcirkulation ovan lösningens yta minskar koncentrationen av ammoniak i luftfasen och mer ammoniak avgår från lösningen för att återställa jämvikten.

Att så stor del av kvävet förekommer som ammonium och ammoniak innebär att det finns risk för ammoniakförluster. Lämpliga åtgärder för att minska förlusterna är att lagra urinen i täckt behållare och att använda spridningstekniker som minimerar risken för ammoniakavgång, vilket beskrivs i senare avsnitt.

Urin som gödselmedel

För att på ett riktigt sätt använda urin som gödselmedel i lantbruket behöver man förstå effekten på grödans avkastning och kvalitet. Det finns få undersökningar av humanurin som gödselmedel men eftersom humanurin liknar djururin kan erfarenheter från spridning av djururin till viss del utnyttjas vid användning av humanurin. Det finns dock en del skillnader i växtnäringsinnehåll och pH som gör att effekten kan variera. Inom lantbruket hanteras djururin från nöt och svin i en mängd av 2,3 miljoner ton per år. I tabell 1 visas en jämförelse mellan dessa gödselmedel och humanurin.

Tabell 1. Fysikaliska och kemiska egenskaper hos humanurin, svinurin och nöturin efter lagring.

	Ts-halt %	N-tot kg/ton	NH ₄ -N kg/ton	P kg/ton	K kg/ton	pH
Humanurin, färsk ^a *	1,02	3,1	3,1	0,39	1,1	8,9
Humanurin, tank*	0,87	3,3	3,3	0,31	0,89	9,2
Svinurin**	0,6	0,63	0,53	0,07	0,95	
Nöturin**	1,2	1,7	1,4	0,04	3,0	

* Data från Jönsson m.fl. 1998, medelvärden beräknade från två mätningstillfällen

a Färsk urin är tagen direkt från avloppsrör innan det hamnar i tanken

** Data från nationell studie av stallgödsel (Steineck m.fl., 1999)

Färsk urin från nöt och svin innehåller drygt hälften av det kväve som djuren utsöndrar. Huvuddelen av fosfor utsöndras via träcken medan det motsatta gäller för kalium.

Växtnäringsämnen i humanurinen är växttillgängliga då de förekommer i stort sett helt i mineralisk form. Av kvävet förekommer 85-90 % av totalinnehållet som ammonium/ammoniak och 95-100 % av fosfor förekommer som fosfat. Humanurin är därför ett snabbverkande gödselmedel och effekten bör jämföras med gödselmedel som har likartad sammansättning snarare än fast stallgödsel där näringen är organiskt bunden. Även om urinens sammansättning varierar är förhållandet mellan kväve, fosfor och kalium väl balanserat och motsvarar i stort sett behovet hos en spannmålsgröda vid lämplig giva. I analysen i tabellen ovan är förhållandet N-P-K 32-3-9 och i ett annat försök med humanurin i ekologisk odling (Lindén, 1997) var förhållandet 27-3-8. Enligt Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling behöver en stråsädesgröda på 5 ton/ha ca 15 kg P/ha om marken har fosforklass III (Jordbruksverket, 1999). Om givan av humanurin med sammansättningen 27-3-8 anpassas efter fosforbehovet blir kvävegivan 135 kg N/ha och givan 50 ton/ha. Urinen är därför i det perspektivet att betrakta som ett kvävestarkt gödselmedel beräknat på fosforbasis eller något fosforsvagt beräknat på kvävebasis. En kvävegiva på 90 kg per ha skulle innebära ca 10 kg fosfor per ha.

Urin innehåller svavel i ungefär samma förhållande till kväve som fosfor (Kirchmann & Pettersson, 1995). Det atmosfäriska nedfallet har under 90-talet minskat och behovet av svavelhaltiga gödselmedel har ökat. En spannmål- eller vallgrödas svavelbehov är ca 10-15 kg S/ha medan oljevaxter har ett behov på ca 15-25 kg S/ha (Jordbruksverket, 1999). Med en giva på 90 kg kväve i humanurin skulle svavelgivan bli ca 10 kg/ha.

Hur påverkas skördarnas storlek vid gödsling med urin?

Erfarenheter av humanurin som gödselmedel är begränsade men då det finns vissa likheter med djururin kan en del erfarenheter dras från spridning av djururin.

I försök med urin som gödselmedel har effekten på skördarna varierat. I svenska försök med spridning av svinurin i vårkorn blev kärnskorde i många fall minst lika stor med samma kvävegiva vid en kombinerad gödsling med urin och handelsgödsel som vid tillförsel av enbart handelsgödsel (Rodhe & Johansson,

1996). Vid spridning i vall med nöturin var dock gödseffekten något sämre än för kontrollled med enbart mineralgödsel.

Vid en jämförelse mellan handelsgödsel och enbart djururin i olika givor till vall gav uringödselade led i genomsnitt en 10 % lägre skörd jämfört med handelsgödsel (Alskog, 1994). I försöket fann man dock skördenedsättande brännskador på grödan redan vid givor på 10 ton/ha. Försökets vall var rik på klöver som är känsligare för brännskador än många gräs, vilket kan förklara brännskadan vid den relativt låga givan.

I försök med humanurin till havre och höstvet i växande gröda spreds urinen med vattenkanna för att efterlikna släpslangsspridning utan efterföljande myllning (Lindén, 1997). Humanurinen gav goda skördeökningar i höstveteförsöken. I havre gav dock tillfört kväve inte lika stort skördeutslag som i höstvete, vilket troligen kan förklaras med den större avkastningspotentialen i höstvete. I försöket fanns inget led med handelsgödsel, men genom jämförelse med andra försök beräknade Lindén att kvävet i humanurinen gav lägre skördeutbyte än för kväve som handelsgödsel. Humanurinkvävet skördestegrade förmåga beräknades i höstvetet vara 60-80 % och havre 50-60 % jämfört med handelsgödsel. Förfrukten i försöket med humanurin var mycket kväverik, vilket kan ha bidragit till ett sämre kväveutnyttjande än i jämförda handelsgödsel-försök. Ett sämre utnyttjande kan eventuellt också förklaras med en annan tidpunkt för gödsling i jämförda försök med handelsgödsel.

Vilket växtnäringsutnyttjande får man med humanurin?

Utnyttjandegraden vid gödsling kan beräknas som mängd upptagen N i grödan relaterat till mängd tillförd N vid gödsling.

$$\text{Utnyttjandegrad} = \frac{\text{upptaget N i grödan}}{\text{tillförd N till grödan.}}$$

Graden utnyttjad andel av tillfört kväve minskar när kvävegivan ökar. I Lindéns (1997) försök med humanurin till höstvet och havre var utnyttjandegraden i höstvete 75 % och i havren 56 % av totalkväve vid den lägsta givan på 30 kg N/ha. Vid den högsta givan, 120 kg kväve per hektar, var utnyttjandegraden för höstvete 57 % och för havre 50 %. Den högre andelen utnyttjat kväve i led med höstvete kan enligt författaren förklaras med att grödan hade kommit längre i utvecklingen vid spridningstillfället, vilket ger minskad luftturbulensen vid ytan och därmed lägre ammoniakavgång. Då höstgrödan redan vid spridningstillfället har utvecklat rotsystem kan också grödan snabbt efter spridningstillfället utnyttja tillförd växtnärning.

Försöken innehöll inga jämförande led med mineralgödsel men Lindén har gjort jämförande beräkningar som baseras på andra fältförsök. I jämförelse med dessa utnyttjades urinkvävet sämre än handelsgödselkväve men i allmänhet var utnyttjandegraden bättre för humanurin än för ammoniumkväve i stallgödsel som bredspridits i vårbruket. Den svagare verkan av humanurinen jämfört med handelsgödsel kan bero på de kväverika förfrukterna i det ekologiska försöket. Uppskattningsvis kunde grödan i dessa försök utnyttja 90 kg N/ha mineraliserat från marken. På en gård

utan djurhållning och med stråsåd som förfrukt kan man räkna med att en stråsådesgröda i genomsnitt kan utnyttja 60 kg markkväve per hektar (Lindén, 1987).

Vid spridning av svinurin kombinerat med en mindre giva handelsgödsel i vårkorn fann Rodhe och Johansson, 1996 att kväveutnyttjandet blev minst lika högt och ibland högre med svinurin och handelsgödsel jämfört med enbart handelsgödsel. Den högre graden av kväveutnyttjande fanns framförallt vid vårspridning men utnyttjandegraden var även hög i växande gröda.

Kvarmo (1997) utförde kärlförsök med humanurin i vårkorn där kväveupptaget i grödan mättes ett antal gånger under tillväxten. Vid degmognad hade grödan tagit upp 70 % av tillfört kväve i led med humanurin och 68 % i jämförande led med ammoniumnitrat.

I fältförsök i vårkorn var kväveutnyttjandet signifikant högre i led med handelsgödsel än i led med humanurin. Vid blomning hade 38 % av kvävet i humanurinen och 67 % av kvävet i handelsgödseln tagits upp. Skillnaden mellan leden var störst i början av säsongen och minskade efter hand men leden med humanurin kom aldrig upp i samma grad av utnyttjande. Den lägre graden för utnyttjande av humanurinkväve i fält kan bero på högre ammoniakavgång vid spridning i fält samt fixering av ammoniumjoner till lerpartiklar. Vid samma typ av beräkningar vid tillförsel av humanurin i höstvetete var utnyttjandegraden 55 % av tillfört kväve. I höstveteförsöket fanns inga jämförande led med handelsgödsel (Kvarmo, 1997).

I ett kärlförsök med korn som gödslades med humanurin och ammoniumnitrat var plantornas upptag av kväve lägre i led med humanurin jämfört ammoniumnitrat (Kirchmann & Pettersson, 1995). Plantornas upptag var 42 % av tillfört kväve i led som gödslats med humanurin jämfört med 53 % i led med ammoniumnitrat. Den lägre effektiviteten i urinledet förklaras med att en högre andel kväve förlorats i gasform. Balansberäkningar indikerade ammoniakförluster på uppskattningsvis 6-7 % i led med humanurin men mycket låga i led som gödslats med ammoniumnitrat. Enligt författarna skulle ett sätt att minska gasförlusterna vara att sänka pH från 9 till ca 7.

Eventuella negativa effekter på grödan vid användning av humanurin

Vid spridning av urin till grödor bör man beakta eventuella negativa effekter på grödan som kan påverka skördens kvalitet eller kvantitet. I försök med spridning av djururin i vall fann Alskog (1994) brännskador, framförallt på rötterna, redan vid givor på 10 ton per ha. Brännskadorna ökade med givan och var nästan fullständiga vid 80 ton/ha. Skadorna var mer vanliga vid vårspridning. Vädret var kyligare vid urinspridningen på våren, både mark-, urin- och lufttemperatur var betydligt lägre. Brännskadans omfattning är beroende av urinens koncentration och genom utspädning kan skadan därför minskas avsevärt. Vallen i försöket var klöverrik och klöverna drabbades i högre grad av brännskador än gräset. Klöverns kvävefixerande förmåga påverkas också negativt vid tillförsel av urinens lätt-tillgängliga kväve, vilket gör att klöverns konkurrensförmåga mot gräs minskar. Detta ledde i försöket till att klöverandelen minskade mer i urinled än i handelsgödselled.

Vid visuell gradering av brännskador eller andra toxiska symptom kunde inga negativa effekter ses i försök med humanurin i vårkorn och höstvetete, varken i kärlförsök eller fältförsök (Kvarmo, 1997). I höstvetete spreds urinen direkt på

bladverket utan att brännskador uppstod. Humanurin innehåller även natrium och klor som vid riklig tillförsel kan orsaka skada på grödan. Känsligheten för salt varierar mellan olika grödor.

Tabell 2. Några vanliga grödors relativa känslighet för höga salthalter i marken. (Johansson & Linnér, 1977; Linnér, 1980).

Salttoleranta	Måttligt salttoleranta	Saltkänsliga
Korn	Råg	Klöver
Socketbeta	Vete	Ärter
Raps	Havre	Jordgubbe
Spenat	Morot	Gurka*
	Potatis	Bönor*

Mätningar av urinens konduktivitet ger en uppfattning om salthalten. I kärlförsök med humanurin till korn uppmättes urinens konduktivitet till 24,2 mS/cm (Kvarmo, 1997). Tre veckor efter spridning av urinen i kärlförsök uppmättes konduktiviteten i jorden. I kärll med den högsta givan av humanurin i försöket motsvarande en giva på 475 kg N/ha uppmättes konduktiviteten till 2,7 mS/cm jämfört med ogödslad kärll med 0,2 mS/cm. Enligt Marschner (1995) beräknas korn tåla en konduktivitet på 8 och vete på 6 mS/cm i jorden utan att skördenivån påverkas. Tomat, som räknas som en känslig gröda, beräknas tåla 1,7 mS/cm. Enligt Mengel & Kirkby (1987) minskar kornskörden med 25 % vid en konduktivitet på 15,8 mS/cm.

Gödning med humanurin i normala givor bör inte innebära någon risk för att brännskador och därmed sänkta skördar ska uppstå.

Spridningsteknik

Vanligtvis används samma teknik för att sprida urin som för flytgödsel, dvs. bredspridning med spridarplatta eller bandspridning med släpplangsramp, bild 4. Fördelar med bandspridning gentemot bredspridning är bl.a. ingen vindpåverkan på gödseln under själva spridningen, bestämd arbetsbredd samt bra möjligheter att sprida i växande gröda. Vid bandspridning i växande gröda placeras gödseln i botten av vegetationen.

Som vid all spridning av växtnäring gäller det att sprida urinen jämnt och i rätt mängd. Tankvagnar är det i särklass vanligaste systemet för att sprida flytande gödselslag. Alla moderna tankvagnar är numera utrustade med en pump för tömningen av vagnen. För att få ett jämn spridning är det viktigt att pumpen har förmåga att upprätthålla ett konstant flöde under tiden som tanken töms.

Vid spridning på obebuden mark kan urinen brukas ned med traktor och harv. Det finns även ramper med släpfbillar för nedmyllning av urinen direkt i både öppen åker och i växande stråsåd, bild 4. Denna teknik är dock ännu ovanlig i Sverige.

Benämning	Gödselplacering	Arbetsorgan
Bredspridning		Spridarplatta Fendelspridare
Bandspridning med släpslangar	ca 15-40 cm	Gödselslang
Bandspridning med "släpfoot"	20-40 cm	"Släpfoot" Gödselslang

Bild 4. Principskiss av bredspridning, bandspridning med släpslangar respektive släpotsbilar.

Vid körning med tunga tankvagnar kan skördenedsättningen till följd av körskador bli betydande. Under senare tid har system med matarslang introducerats på marknaden, bild 5. Från lagringsbehållare eller mellanlager vid fältkant pumpas gödseln till någon typ av spridaraggregat kopplat på traktorn. Den stora fördelen med systemen är att markpackningen minskas. Investeringskostnaden kan bli hög, vilket förutsätter stora kvantiteter att sprida för att få lönsamhet (Brundin & Rodhe, 1990).

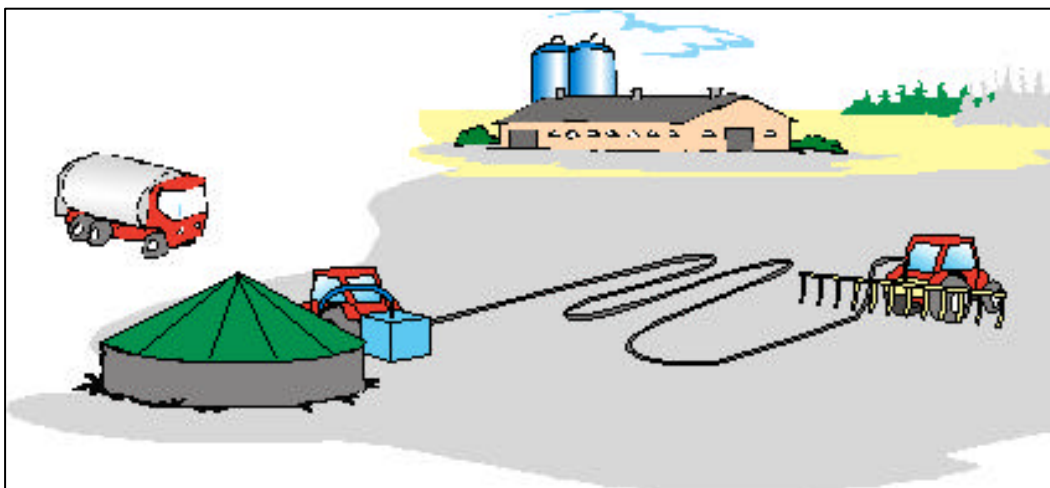


Bild 5. Med s.k. matarslangsystem pumpas gödseln ut till spridaraggregatet på traktorn.

Ammoniakavgång

Ammoniakavgången mättes efter spridning av svinurin till vårkorn (Rodhe & Johansson, 1996). Urinen spreds i samband med vårbruk och när grödan var ca 10 cm hög. Förlusterna uppgick till 5-10 % av utspridd mängd kväve, men när urinen harvades ned direkt efter spridning var ammoniakavgången knappt mätbar. Det var ingen större skillnad i ammoniakavgång mellan bred- och bandspridning vid spridning på öppen åker. Vid spridning i växande korngröda blev dock förlusterna relativt sett lägre vid bandspridning än vid bredspridning. Vid spridning av nöturin till gräsvall erhöll Rodhe & Johansson betydligt högre ammoniakförluster, ca 20-49 % av tillfört kväve förbrades. Hård lermark och kort stubbhöjd bidrog förmodligen till de höga förlusterna.

Utlakning av kväve i mark

En grödas kvävebehov täcks av den gödselgiva som tillförs samt av kväve som mineraliseras under säsongen från markens organiska material. En väletablerad gröda är en förutsättning för att markens mineraliserade kväve ska kunna utnyttjas på bästa sätt och då minskar risken för växtnärläckage till den omgivande miljön. För att minska förlustrisken bör en så optimal giva som möjligt ges till grödan. Det är dock svårt att förutse grödans kvävebehov eftersom variationerna i klimat och mängd mineraliserat kväve mellan enskilda år är så stora (Torstensson, 1998).

Enligt Torstensson (1998) härstammar det kväve som kan förloras genom kväveläckage framförallt från markmineralkväve som inte har tagits upp av grödan samt från markmineralkväve som mineraliserats från markens organiska kväveförråd vid en tidpunkt då grödan inte kunnat utnyttja kvävet.

Genom provtagning direkt efter skörd kan man få en indikation på om tillförd mängd gödselkväve bidragit med större mängd mineralkväve i marken jämfört med då inget gödselkväve har tillförts. Detta i sin tur kan ge en indikation på hur stor risken är för kväveläckage under hösten och vintern (Lindén, 1980). Nettomineraliseringen i marken bestäms genom summan av markens innehåll på 0-90 cm djup samt grödans totala upptag vid gulmognad minus markens innehåll på våren innan gödselspridning. Vid gulmognad anses grödans upptag vara avslutat. I stråsåd tycks det vara möjligt att använda ettåriga ogödslade ytor i fält, där gröda skördas och mängden upptaget kväve bestäms, för att uppskatta nettomineraliseringen under växtodlingssäsongen (Lindén m.fl., 1992).

Övriga miljörisiker vid spridning av humanurin

Tungmetallerna i födan tas upp av olika organ i kroppen och utsöndras endast till liten del via urinen. Det låga innehållet av tungmetaller i humanurin har också visats genom analyser av sorterad humanurin. I tabell 3 redovisas analyser av urin från tre olika områden med urinsorterande toaletter.

Innehållet av tungmetaller i urinen från Understenshöjden, Palsternackan och Hushagen varierar mycket men var generellt sett lågt i analyserna. Undantaget var kopparhalten i urinen från de två första områdena jämfört med Hushagen. Detta kan förklaras med att vattenlåset i Hushagen var gjort av plast. I Palsternackan

och Understenshöjden var de däremot gjorda av koppar och urinlösningen har löst ut metallen ur dessa. Metaller bör alltså undvikas i ledningssystemet.

Tabell 3. Tungmetallhalter i uppsamlad urin från tre bostadsområden (Jönsson m.fl., 2000).

Tungmetall	Understenshöjden mg/l	Palsternackan mg/l	Hushagen mg/l
Bly	<0,01	<0,027	<0,02
Kadmium	<0,001	<0,0013	<0,001
Kvicksilver	0,0004	<0,0004	<0,001
Koppar	2,5	3,0	0,25

< Innebär att innehållet av tungmetallen låg under detektionsgränsen. Siffran som anges är detektionsgränsen.

Sammansättningen av humanurin varierar både vad det gäller tungmetallinnehåll och växtnäringsinnehåll. I projektet ”Källsorterad humanurin i kretslopp” beräknades kadmiuminnehållet vara mindre än 3 mg/kg fosfor (Jönsson m.fl., 2000). En giva på 100 kg N som humanurin skulle innebära ca 10 kg fosfor och därmed mindre än 0,03 g Cd/ha. Hydro Agri garanterar i sina fosforgödselmedel att kadmiumhalten inte överstiger 5 mg/kg fosfor. Vid en tillförsel av 20 kg P/ha innebär det en tillförsel på max 0,1 g/ha. Detta är också lågt jämfört med stallgödsel där kadmiuminnehållet varierar mellan 7 och 18 mg Cd/kg P på undersökta konventionella gårdar (Steineck m.fl., 1999). Det gränsvärde för årlig tillförsel till åkermark med avloppsslam som sattes genom en överenskommelse mellan Naturvårdsverket, LRF och Vatten- och avloppsverksföreningen var år 2000 max 0,75 g kadmium per hektar och år. Gränsen för bly sattes till 25 g/ha och år, för kvicksilver 1,5 g/ha och år och för koppar 300 g/ha och år.

Risker för smittspridning med ren urin är mycket liten. Däremot kan inblandning av fekalier i urinen ge föroreningar av vissa patogener. Om lämpliga åtgärder och försiktighetsmått iakttas så är de hygieniska riskerna ändå mycket små.

En viktig åtgärd är lagring som eliminerar eller reducerar patogener i urinen. Lång lagringstid, hög temperatur, hög kvävekoncentration och högt pH i urinen ger störst reduktion. Enligt Höglund (2001) kan, ur smittskyddssynpunkt, spridning ske till samtliga grödor om lagring skett vid minst 20°C i minst 6 månader. Om lagring skett vid minst 4°C under 6 månader kan spridning ske till alla grödor utom livsmedelsgrödor som konsumeras råa. Av försiktighetskäl bör urin från områden där utsöndringen av patogener och mediciner är hög undvikas. Som exempel kan nämnas sjukhus och ålderdomshem.

Vid spridning av urinen bör exponeringen för lantbrukaren och aerosolbildning reduceras. Genom direkt nedmyllning, marknära spridning och nedharvning av urinen minskas riskerna. Även valet av plats för hantering och spridning kan minska risken för exponering för människor och djur.

Risken för miljön när det gäller förekomst av läkemedelsrester i humanurinen är liten, enligt en förstudie gjord av Naturvårdsverket 1996. Kunskapen inom detta område är dock begränsad och ytterligare forskning behövs.

Genomförande

Försöksplatsen

Försöken utfördes på Talby Nedergård som ägs av Stockholm vatten. Gården är belägen i Bornsjöområdet några kilometer nordost om Södertälje.

Jordarten var i 1997 års försök något mullhaltig mellanlera. Jordarten under 1998 och 1999 års försök var en något mullhaltig styv lera. Utökning av antalet led samt försöksfältets utformning gjorde att försöket fick läggas på en annan del av fältet.

Fältet hade inte fått någon stallgödsel de föregående 5 åren. Frånvaron av gödsling med organiska gödselmedel på försöksplatsen var önskvärd för att effekten av tillförd gödsel i försöket inte skulle överskuggas av markens bakgrundsleverans.

Växtföljd på försöksplatsen:

1987	ärter
1988	vårve
1989	rybs
1990	höstve
1991	träda
1992	höstve
1993-1995	träda under omställningsprogrammet
1996	höstve
1997	korn, Mentor
1998	korn, Filipa
1999	korn, Mentor

Fältplan

Under 1997 utfördes led A-I med ammoniakmätningar i led B, C och E. Försöket utökades under 1998 och 1999 med ytterligare 6 led med varierande spridningstidpunkt och spridningsteknik. Ammoniakmätningar utfördes då i led B, C, E, J, L och O.

Led	Giva	Spridnings-tidpunkt	Spridnings-teknik	Övrigt
A	ogöds	ogöds	ogöds	
B, C, D, E	10*, 20*, 30, 60* ton urin/ha	vår	släpslang	nedharvning 4 h efter spridning
F, G, H, I	30, 60, 90, 120 kg N/ha, NPK	vår	kombisådd	
J	20* ton urin/ha	vår	släp	
K, L, M	10,20*,30 ton urin/ha	växande gröda	släpslang	30 kg N/ha i form av NPK på våren
N	20 ton urin/ha	växande gröda	släpslang	ej NPK på våren
O	20* ton urin/ha	växande gröda	släp	30 kg N/ha i form av NPK på våren

* Led i vilka ammoniakemission mättes efter spridning

40 kg kalium och 20 kg fosfor per ha tillfördes försöket så att dessa näringsämnen inte skulle vara begränsande för skörden. I övrigt gjordes behovsanpassad ogräs- och insektsbekämpning.

Väderlek

I tabell 4 presenteras lufttemperatur i medeltal och nederbörd per månad maj-augusti åren 1997-1999 för försöksplatsen samt genomsnitt för perioden 1961-1990.

Tabell 4. Lufttemperatur i medeltal och nederbörd per månad för maj – augusti under försöksåren 1997-1999 uppmätta med väderstation vid fältet. Referensnormaler perioden 1961-90. Nederbörd uppmätt vid Bergaholms väderstation samt temperatur från Södertälje väderstation (SMHI, 1991).

Månad	År			
	1997	1998	1999	1961-90
<i>Temperatur, °C</i>				
Maj	9,2	9,8	9,0	10,6
juni	15,3	12,7	15,7	15,4
juli	18,0	15,2	19,3	16,8
augusti	18,4	13,8	16,1	15,8
Medel maj-augusti	15,2	12,9	15,0	14,7
<i>Nederbörd, mm</i>				
Maj	87	35,0	26,3	34
juni	119	26,7	49,9	51
juli	14	98,2	18,8	69
augusti	20	52,9	0	65
Totalt maj-augusti	240	213	95	219

Under våren 1997 regnade det kraftigt och marken torkade upp först i slutet av maj månad. Vårbruket blev försenat på grund av regnskurar och en kylig vår, vilket gjorde att marken torkade upp långsamt och inte bar tunga maskiner. I juni blev det högtryck med varmt väder och rikligt med regn. I juli månad slog vädret om och det blev varmt och extremt torrt. Grödan led av brist på vatten.

Under 1998 regnade det relativt mycket och ofta under hela växtsäsongen. Det regniga och varma vädret gynnade mineraliseringen av kväve i marken under hela växtsäsongen, vilket gjorde att effekterna av gödslingen blev otydliga.

Det omvända förhållandet rådde under 1999. Vädret var varmt och torrt under hela säsongen. Medeltemperaturen låg mellan 16 och 19°C. Det varma och torra vädret gjorde att grödan led av vattenbrist.

Eftersom vissa väderparametrar har stor betydelse för ammoniakavgången, gjordes kontinuerliga registreringar av väderleken under den period ammoniakmätningarna pågick. I anslutning till blockförsöket placerades en väderstation (Vicon) som registrerar och lagrar timvisa medelvärden på ett antal väderleksparametrar. I tabell 5 återges registreringarna för de parametrar som inverkar mest på ammoniakavgången.

Tabell 5. Medelvärden för luftens och markytans temperatur, °C, och vindhastigheten, m/s, för perioder med mätning av ammoniakavgång.

Mätår, period	Temperatur, °C		Vindhastighet, m/s
	Luft	Markyta	
1997, vår	7,3	11,0	3,6
1998, vår	15,7	19,9	3,3
1998, sommar	13,7	17,2	3,0
1999, vår	10,0	9,8	2,8

Gödselns egenskaper

Merparten av den urin som användes kom från två bostadsområden. Det ena området var Understenshöjden som är en "ekoby" belägen på Hammarbyhöjden i Stockholm. Man har här haft urinseparering en längre tid. Det andra bostadsområdet Palsternackan är ett hyreshusområde i Enskede, Stockholm. Till viss del har också urin tagits från Bommersvik och Gebers.

Under år 1997 samt vid vårspridningen 1998 kom urinen från Understenshöjden. Vid den sena spridningen år 1998 kom urinen från Palsternackan och under 1999 spreds en blandning av urin från Palsternackan, Understenshöjden, Bommersvik och Gebers.

För att säkerställa den hygieniska kvaliteten lagrades urinen i sex månader i närheten av försöksplatsen. Lagret består av 3 stycken lagringstankar à 150 kubikmeter, vilka är utformade som butylgummisäckar.

Analys av urinens torrsbstanshalt, askhalt, pH-värde, innehåll av ammonium- och totalkväve samt fosfor och kalium gjordes av KM Lab AB, tabell 6.

Tabell 6. Växtnäringsinnehåll och egenskaper, humanurin 1997-1999.

	Ts-halt, %	N-tot, kg/ton	NH ₄ -N, kg/ton	P, kg/ton	K, kg/ton	pH
1997	0,71-0,77	3,5-3,9	3,3-3,6	0,27-0,30	0,99-1,0	8,9
1998						
Vår	0,54	2,6	2,1	0,23	0,85	9
Sommar	0,54-0,56	2,3-2,6	2,0-2,3	0,21-0,23	0,74-0,85	8,9-9
1999						
Vår	0,41-1,2	2,09-2,64	2,05-2,64	0,19-0,23	0,70-0,77	8,9
Sommar	0,4	1,9	1,8	0,14	0,53	8,8

Spridningsteknik

Spridningen utfördes med en försöksspridare med flödesmätare och en sidmonterad ramp. På den 3 m breda rampen finns 12 utlopp för urinen med 25 cm c/c-avstånd. Olika utrustning kan kopplas till utloppen och på så sätt kan olika appliceringstekniker provas. I detta fall ingick dels släpslangar, dels s.k. släpfotsbillar, bild 6. Med släpslangar placeras urinen i band på markytan. Med släpfotsbillar myllas urinen ned i marken i samband med spridning, under förutsättning att markytan är lucker. I försöket harvades urinen som spridits ut med bandspridning ned i marken fyra timmar efter spridning. Harvdjupet var ca 4-6 cm.

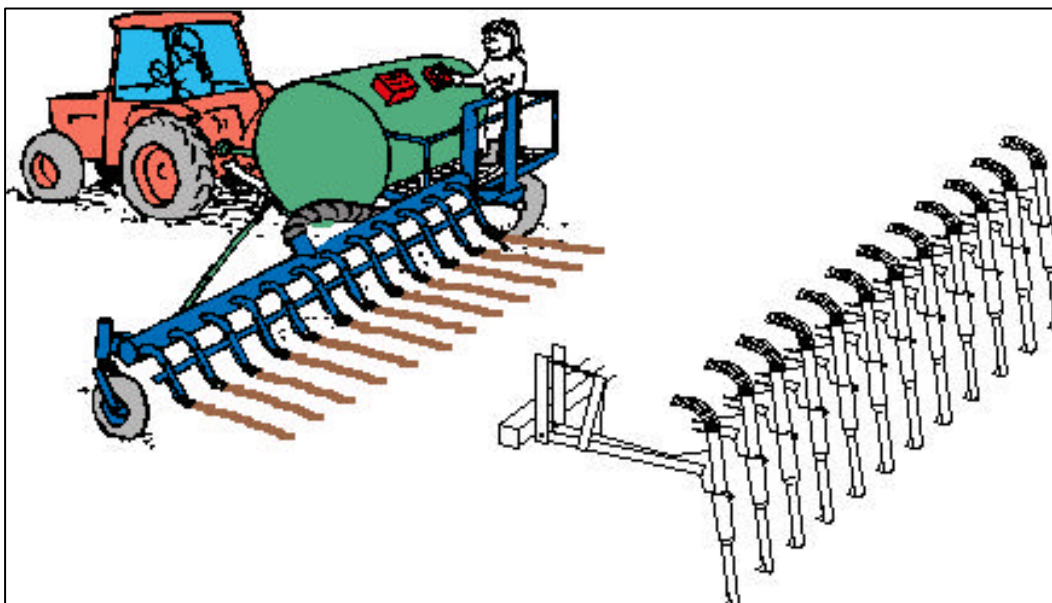


Bild 6. Försöksspridare med sidmonterad ramp med släpslangar alternativt släpfotsbillar.

Ammoniakavgång

Ammoniakavgången mättes med en metod utvecklad vid JTI i samarbete med IVL (Svensson, 1993), bild 7. Mätningarna sker nära markytan med passiva diffusionsprovtagare där jämviktskoncentrationen, omgivande luftens koncentration samt överföringstalet bestäms. Provtagare exponerades under 2-3 tidsperioder i följd med början direkt efter spridning.

Utrustningen i fält (bild 7) består av ventilerade kammare, s.k. kyvetter, i vilka jämviktskoncentrationen av ammoniak mäts. Omgivande koncentration och överföringstal mäts med provtagare placerade utanför kyvetten. På varje ruta användes två kyvetter och en omgivningsprovtagare. Ammoniakkoncentrationen i kyvetterna mättes även momentant med ett handinstrument med detektionstuber (Kitagawa) för att kunna bestämma lämpliga exponeringstider för provtagarna i de olika rutorna.

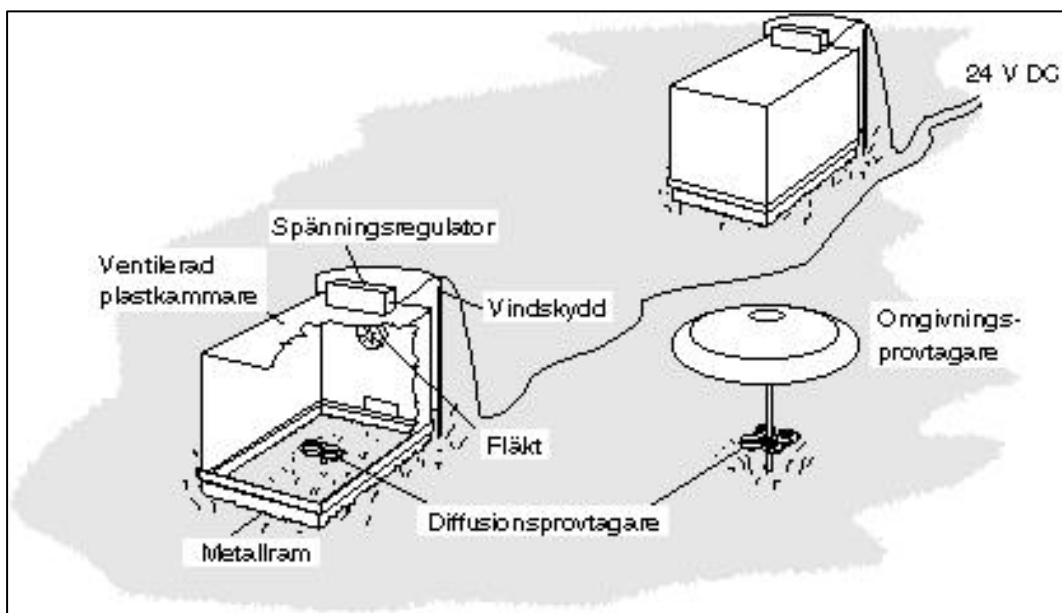


Bild 7. Utrustning för ammoniakmätning i fält. Två kyvetter och en omgivningsmätare användes per ruta.

Mätningar utfördes efter bandspridning av urin vid givorna 10, 20 och 60 ton/ha alla tre åren samt efter spridning med släpfbillar år 2 och 3. Dessutom mättes ammoniakavgången år 2 efter spridning i växande gröda med teknikerna släp-slangramp och ramp med släpfbillar vid givan 20 ton/ha. Även i en av de tre odöslade rutorna gjordes mätningar under en period.

De fyra försöksleden, se tabell 8, jämfördes med avseende på ammoniakavgång efter spridning. Denna uttrycktes dels i absoluta tal (kg N/ha), dels som procentuell andel av total mängd utspridd kväve. Analysen utfördes för ett år i taget samt för hela treårsperioden med variansanalysmodeller innehållande faktorerna år, block (år) och försöksled (SAS Institute Inc, 1994).

Gödselspridning

Koncentrationen av näringsämnen i urinen varierade mellan åren och mellan urinsatser med olika ursprung. Givan av humanurin var ett bestämt antal ton per ha och anpassades ej efter kväveinnehåll, vilket gör att kvävegivan i samma led varierar något mellan åren. De verkliga kvävegivorna redovisas i tabell 7.

Tabell 7. Verkliga givor i försöket 1997-1999. Ton urin per ha, totalkväve samt ammoniumkväve, kg/ha.

Led	Urin, ton/ha			Total-N, kg/ha			NH ₄ -N, kg/ha		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999	1997	1998	1999
B	8	10	10	28	26	21	26	21	20,5
C	21	18,8	20	74	49	42	69	39,5	41
D	28	32,6	29,2	109 *	85	77	101 *	68,5	77
E	59	60	74,5	230	156	197	212	126	197
J		20	20		52	42		42	41
K		10	8		26	15		23	14,1
L		21,4	21,5		49	40,6		42,8	37,8
M		30	29,5		78	55,7		69	51,9
N		21,4	21,5		49	40,6		42,8	37,8
O		21,4	18		49	34		42,8	31,7

* I led D block 3, totalkväve 98 kg/ha och NH₄-N 92 kg/ha

Provtagning

Markkartering

Markkarteringen visade att försöksplatsens jordart 1997 var något mullhaltig mellanlera med pH 6,3 samt fosfor och kaliumklass IV. Förråden av fosfor och kalium var goda. Försöksplatsen flyttades något inom samma fält 1998 och 1999 och jordarten var där något mullhaltig styv lera. Tillgången på lättlösligt fosfor var här något lägre men jorden var dock i gott näringstillstånd.

Kväveprofil

För att följa tillgången på växttillgängligt kväve bestämdes markens innehåll av mineralkväve, ammonium- och nitratkväve, vid tre tidpunkter: före sådd, vid gulmognad och sen höst. Proverna togs ut på tre djup, 0-30, 30-60 samt 60-90 cm djup.

Det första provet ger utgångsvärde för markens kvävetillgång på våren. När det andra provet tas, mellan gulmognad och skörd, har grödan nått sitt maximala kväveupptag och provet visar hur mycket jord- och gödselkväve som finns kvar i de olika leden. I samband med denna provtagning bestämdes även grödans innehåll av kväve. Det tredje provet togs på senhösten för att visa utlakningsrisken. Restkvävet kommer från immobiliserat kväve inbyggt i mikrobmassa som sedan har mineraliserats efter det att grödans kväveupptagning avslutats (Lindén, 1997).

Den mineraliserade mängden kväve under säsongen beräknas som skillnaden mellan mängden mineralkväve på våren (generalprov) och mängden kväve i led A, utan gödselkväve, vid gulmognad under antagandet att inga förluster hade förekommit under säsongen.

Under 1997 togs kväveprofiler i alla led enligt plan. Under 1998 togs prover i ett begränsat antal led (A, C, E, G, I, J, L, N och O) och under 1999 togs prover i samma led som 1998 undantaget led I.

Resultat

Ammoniakavgång

Totala förluster, vårspridning

Analyserna för enskilda år med absoluta värden (tabell 8) visade att emissionen år 1 och 2 från bandspridd humanurin 60 ton/ha var signifikant högre än de övriga leden. För år 3 kunde endast en signifikant skillnad visas mellan högsta givan bandspridd humanurin och humanurin bandspridd med släpfoot 20 ton/ha.

Tabell 8. Ammoniakavgången i absoluta värden, kg N/ha, efter spridning av humanurin på våren i tre olika riktgivor, 10, 20 och 60 ton/ha. Vid givan 20 ton/ha spreds urinen med två olika tekniker.

Led	Riktgiva, ton/ha	Ammoniakavgång, kg N/ha			
		År 1	År 2	År 3	I genomsnitt över år 1-3
Bandspr. med släpslang	10	1,8 ^a	0,5 ^a	1,5 ^{ab}	1,3 ^a
Bandspr. med släpslang	20	4,1 ^a	0,9 ^a	2,0 ^{ab}	2,3 ^a
Bandspr. med släpslang	60	20,5 ^b	3,5 ^b	3,2 ^a	9,0 ^b
Bandspr. med släpfoot	20		0,1 ^a	0,5 ^b	

^{a, b} Medelvärden med olika bokstäver inom varje kolumn är signifikant skilda ($p < 0,05$)

För analys av hela treårsperioden för urin bandspriden med släpslang påvisades ett samspel mellan år och led för absoluta tal, vilket betyder att skillnaden mellan försöksled varierar mellan åren. Under första året var förlusterna betydligt högre och mer varierande än under de övriga två åren. I genomsnitt för treårsperioden kunde emellertid signifikanta skillnader visas mellan högsta givan och de lägre givorna i absoluta tal men inte för procentuella tal, se tabell 8 och 9.

Kvävegivan minskade med åren, trots att givorna i massa räknat var desamma, eftersom koncentrationen av kväve i urinen var högst första året och därefter sjönk under de två kommande åren. Därför är det mer intressant att studera skillnader mellan leden i andel utspridd kväve som avgått som ammoniak. I tabell 9 redovisas resultaten. Inga signifikanta skillnader kan påvisas vid studie av enskilda år och inte heller i genomsnitt över de tre åren.

Ammoniakavgången vid vårspridning överskred aldrig 10 % av utspridd mängd kväve med humanurin. I genomsnitt över de 3 åren blev förlusten ca 5 % vid bandspridning med nedharvning fyra timmar efter spridning. I tabell 9 visas förlusterna vid olika givor och spridningstekniker angivet som procent av utspridd mängd kväve.

Ammoniakförlusterna efter direktnedmyllning med släpfootbillar var lägre jämfört med bandspridning med efterföljande harvning. I tabell 10 redovisas förlusten i genomsnitt över år 2 och 3 för de två teknikerna vid givan 20 ton/ha.

Tabell 9. Ammoniakavgången i procent av total mängd utspridd kväve per ha, efter spridning av humanurin på våren i tre olika givor och för givan 20 ton/ha med två olika tekniker. Inga signifikanta skillnader inom varje år.

Teknik	Riktgiva, ton/ha	Ammoniakavgång, procent av utspridd mängd kväve			
		År 1	År 2	År 3	I genomsnitt över år 1-3
Bandspr. med släpslang	10	6,7	2,5	7,2	5,5
Bandspr. med släpslang	20	5,9	2,0	4,7	4,2
Bandspr. med släpslang	60	9,7	2,7	1,6	4,7
Bandspr. med släpfot	20		0,3	1,1	

Tabell 10. Ammoniakavgången i genomsnitt över år 2-3 räknat i kg N/ha respektive procentuell andel av utspridd mängd kväve med humanurin på våren och för givan 20 ton/ha med två olika tekniker.

Teknik	Riktgiva, ton/ha	Ammoniakavgång	
		kg N/ha	%
Bandspr. med släpslang	20	1,4 ^a	3,3
Bandspr. med släpfot	20	0,3 ^b	0,7

^{a, b} Medelvärden med olika bokstäver inom varje kolumn är signifikant skilda ($p < 0,05$)

Kumulativa förluster, vårspridning

Ammoniakavgången mättes under flera tidsperioder i följd med början direkt efter spridning. Genomgående är att efter harvning har förlusterna varit knappt mätbara med undantag för högsta givan (60 ton/ha). Bild 8-10 visar hur sammanlagda förluster ökar med tiden under år 1 - 3. Totalt sett är dock förlusterna per ha relativt små.

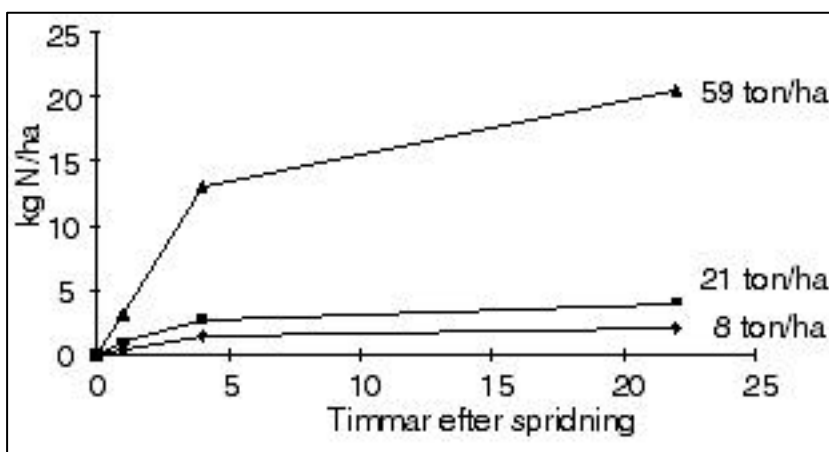


Bild 8. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av humanurin före vårsådd av korn år 1. Efter ca 4 timmar nedharvades urinen vid bandspridning med släpslang.

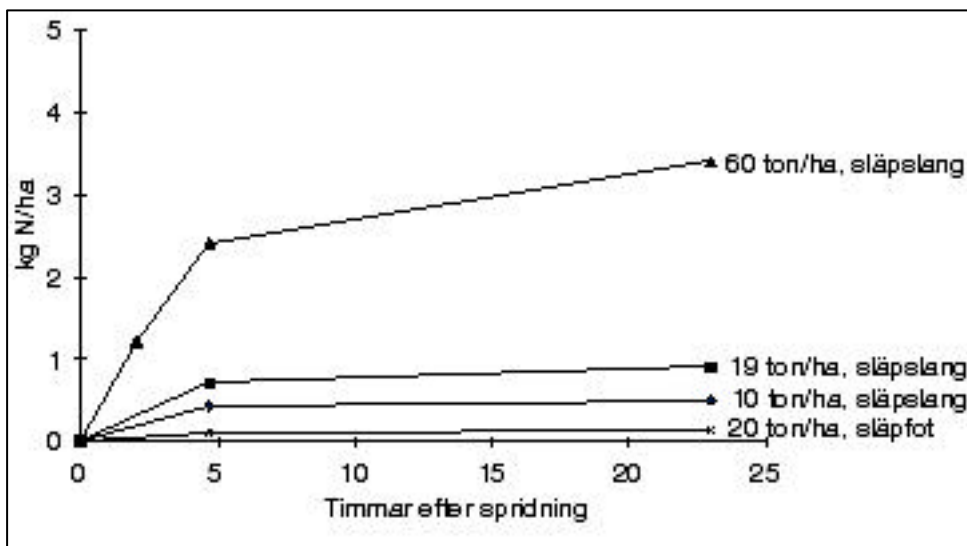


Bild 9. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av humanurin före vårsådd av korn år 2. Efter ca 4 timmar nedharvades urinen vid bandspridning med släpslang.

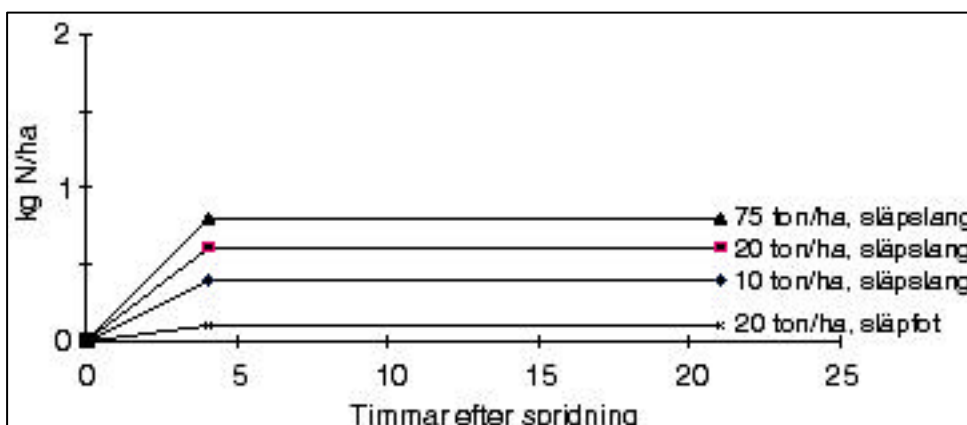


Bild 10. Kumulativa kväveförluster i form av ammoniak efter spridning av humanurin före vårsådd av korn år 3. Efter ca 4 timmar nedharvades urinen vid bandspridning med släpslang.

Totala förluster, spridning växande gröda

Vid mätning av ammoniakavgång i växande korn andra året var förlusterna knappt mätbara efter bandspridning respektive myllning med släpfotsbilar, se tabell 11.

Tabell 11. Spridning i växande gröda 1998. Ammoniakavgången räknat i kg N/ha respektive procentuell andel av utspridd mängd kväve med humanurin vid givan 20 ton/ha med två olika tekniker.

Teknik	Riktgiva, ton/ha	Ammoniakavgång	
		kg N/ha	%
Bandspr. med släpslang	20	0,2	0,4
Bandspr. med släpfot	20	0,1	0,2

Avkastning

Giva

Skörden av korn vid olika givor av humanurin och mineralgödsel visas i bild 11-13. I bilderna baseras punkterna på medeltal av tre upprepningar, med högsta och lägsta värdet inprickat. I vissa fall, speciellt under 1998, är variationerna mycket stora, vilket gör det svårt att dra entydiga slutsatser. Alla skördar av kärna är angivna med 15 % vattenhalt, som är betalningsnorm och normal vattenhalt i handelsvara.

Under 1997 var skörderesponskurvan för humanurin lägre än motsvarande kurva för mineralgödsel. Skördenivån under detta år var låg, speciellt i ogödslade rutor. Skördenivån i ogödslade rutor var endast 700 kg per hektar och i normalgödslade rutor var skörden lägre än normskörden för korn, i detta område 4 508 kg per hektar med 15 % vattenhalt (SCB, 1997). Normskörden beräknas av SCB utifrån flera års skördesiffror. Den låga skörden kan delvis förklaras av torka i juli och sen sådd. I juli var en del ax förkrympta, vilket tyder på vattenbrist. Sådden försenades cirka två veckor på grund av regnskurar.

Från den beräknade skörderesponskurvan för humanurin i bild 11 kan man se att en kvävegiva på 100 kg per hektar i humanurin gav en skörd som motsvarar ca 2 600 kg kärna per hektar. Om man läser av motsvarande punkt på skörderesponskurvan för mineralgödsel ser man att en tillförsel av mineralgödsel motsvarande 100 kg kväve per hektar gav ca 3 800 kg kärna per hektar. En jämförelse av detta slag mellan humanurin och mineralgödsel ger därför att efter gödning med humanurin blev skörden 68 % av vad motsvarande mängd kväve i form av mineralgödsel gav.

Om man istället iakttar punkterna i diagrammet, vilka motsvarar de faktiska observationerna, så ser man att en giva med ca 100 kg kväve per hektar som humanurin gav en skörd som motsvarar 80 % av skörden vid tillförsel av 90 kg mineralgödselkväve per hektar.

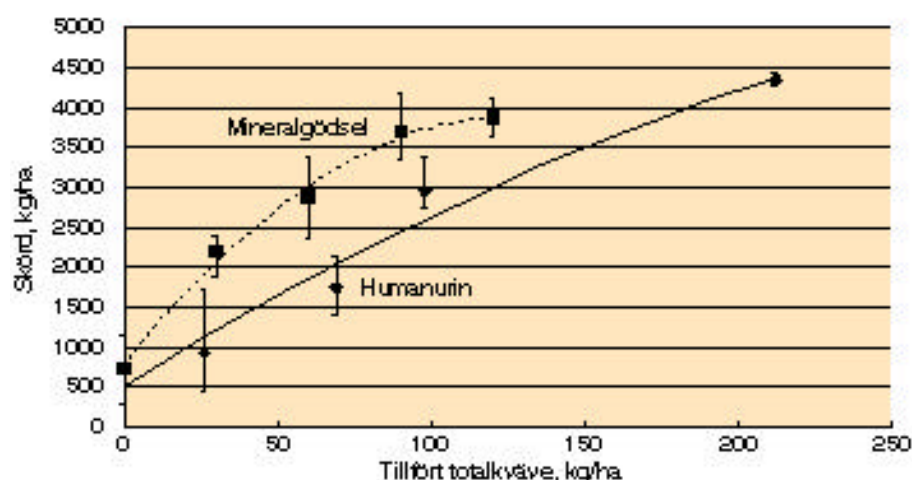


Bild 11. Skörd av korn vid gödning med humanurin och mineralgödsel 1997.

Vid den högsta givan på 60 ton humanurin per hektar, med ett innehåll av 212 kg kväve per hektar, visade skördeökningen inga tecken på av avta, se bild 11. Inga skador på grödan som resultat av t.ex. brännskador på grund av höga halter av växtnäring kunde iaktas. Trots det goda skörderesultatet är givor av detta slag inte att rekommendera eftersom växtnäringsbalansen visar att grödan inte kan utnyttja större delen av överskottskvävet.

Väderleken under 1998 med riklig nederbörd gjorde att förhållanden för mineralisering av markens kväve var goda. Urinen som användes under 1998 hade en lägre koncentration av kväve än det första året, se tabell 6. Detta innebär att kvävegivan var lägre än i samma rutor 1997 men trots detta var skördarna högre under 1998. Den relativt goda skörden i ogödslade rutor tyder på att tillgången på kväve mineraliserat från marken var god. Storleken på skörden vid normala gödselgivor var i samma nivå som normskörden för området.

Tillgången till mineraliserat kväve från markens innehåll av organiskt material överskuggade delvis gödslingen under 1998, och ledde till att variationerna i försöket blev stora. Skillnaden i skörd mellan rutor med stigande givor av humanurin och mineralgödsel var inte stor, vilket tyder på att andra faktorer än gödselgivan påverkade skörden. Vid ökande gödselgivor avtog dock skördeökningen mer i mineralgödslade rutor jämfört med humanurin. Detta observerades också under 1997 men då var skillnaderna större.

Skörderesponskurvorna ger vid handen att humanurin detta år gav bättre skörd än mineralgödsel. Detta blir speciellt tydligt vid tillförsel av ca 90 kg kväve per hektar med humanurin och mineralgödsel. Men variationen i försöket är stor, vilket syns i de staplar som omger varje punkt i diagrammet, och det är svårt att dra entydiga slutsatser detta år.

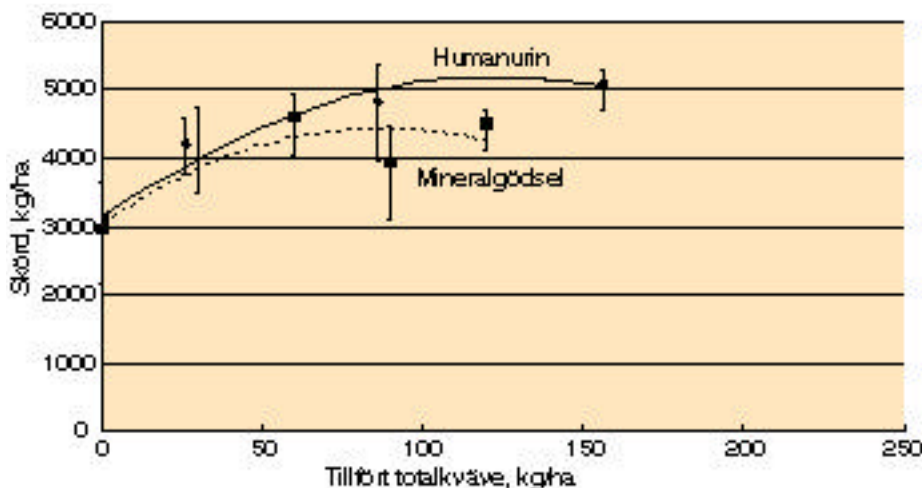


Bild 12. Skörd av korn vid gödsling med humanurin och mineralgödsel 1998.

Väderleken under 1999 var mycket torr men detta påverkade ej skörden negativt i lika stor grad som under 1997 eftersom försöket var placerat på en annan del av fältet, där förhållandena var mer gynnsamma. Skillnaden mellan skörderesponskurvorna var mindre än under 1997. Ökad tillförsel av gödselmedel gav ökad skörd, vilket tyder på att det detta år var tillförd växtnäring som påverkade skördens storlek.

Från den beräknade skörderesponskurvan för humanurin i bild 13 kan man se att en kvävegiva på 100 kg per hektar i humanurin gav en skörd som motsvarar ca 4 015 kg kärna per hektar. Om man läser av motsvarande punkt på skörderesponskurvan för mineralgödsel ser man att en tillförsel av mineralgödsel motsvarande 100 kg kväve per hektar gav ca 4 640 kg kärna per hektar. En jämförelse av detta slag mellan humanurin och mineralgödsel ger därför att efter gödsling med humanurin blev skörden 87 % av vad motsvarande mängd kväve i form av mineralgödsel gav.

Om man istället iakttar punkterna i diagrammet, vilka motsvarar de faktiska observationerna, så ser man att en giva med ca 80 kg kväve per hektar som humanurin gav en skörd som motsvarar 85 % av skörden vid tillförsel av 90 kg mineralgödselkväve per hektar.

Även under 1999 gav en tillförsel av ca 200 kg kväve med humanurin en hög skörd, dock inte lika markant som under 1997. Givor av detta slag är, som tidigare nämnts, inte att rekommendera. Dock har inga toxiska effekter noterats, något som befarades när försöket planerades.

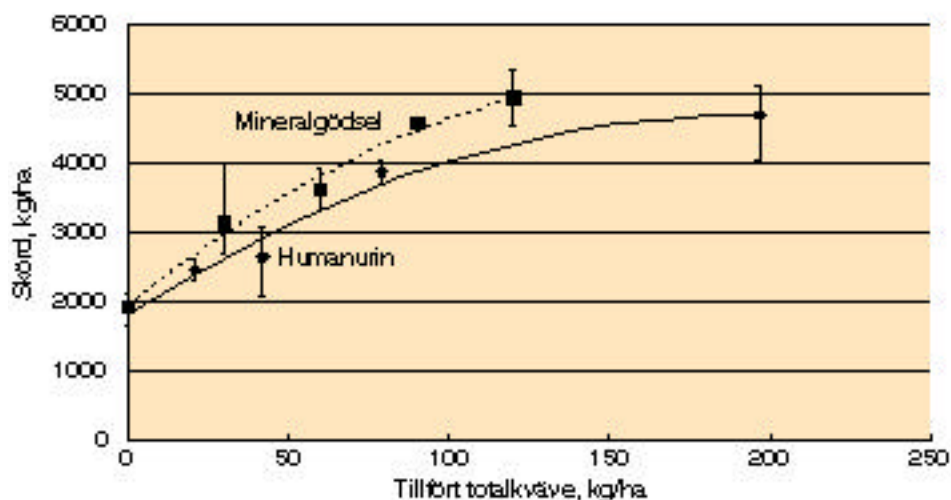


Bild 13. Skörd av korn vid gödsling med humanurin och mineralgödsel 1999.

Sammanfattningsvis kan sägas att när man tittar på skörderesponskurvorna så ser man att skörden av korn när man gödslade med humanurin uppgick till ca 70- >100 % av skörden vid gödsling med mineralgödselmedel vid givor av växtnäring som är normala vid odling av vårkorn. Om man använder enskilda observationer så blir motsvarande siffror ca 80-100 %. Man bör alltså räkna med en naturlig variation, som ger skillnader mellan åren när det gäller utnyttjandet av växtnäring i humanurin.

Teknik

Spridningstekniken har, likaväl som storleken på gödselgivan, inverkan på skördens storlek. I bild 14 visas skörd vid användning av ramp med släpslangar respektive släpfotsbilar. Vid vårspridning 1998 blev skörden signifikant ($P < 0,05$) högre i de rutor där urinen spridits med ramp med släpfotsbilar än vid bandspridning med släpslangar följt av harvning. Under 1999 återfanns samma effekt men med mindre skillnader mellan de olika spridningsteknikerna. Detta innebär att vid vårspridning är direktmyllning med släpfotsbilar att föredra framför bandspridning med släpslangar följt av nedharvning. I växande gröda kunde inga statistiskt säkra skillnader mellan spridningsteknikerna hittas ($P < 0,05$). Observera att rutor med sommarspridning har fått en startgiva med 30 kg NPK på våren, vilket gör att den totala kvävegivan i dessa rutor är högre.

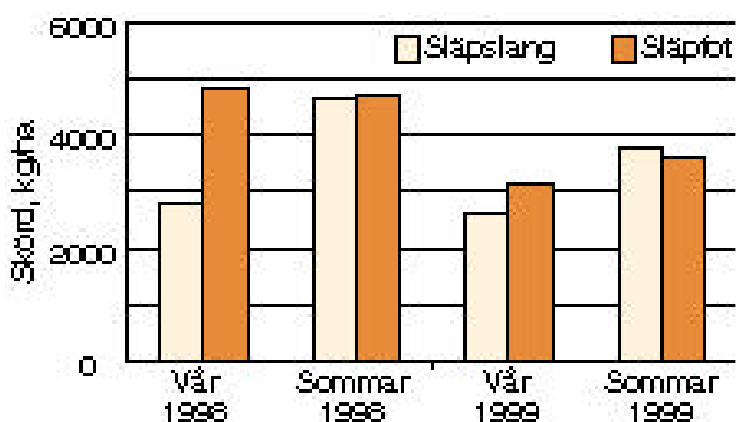


Bild 14. Spridningsteknikens inverkan på skördens storlek. Skörd vid användning av ramp med släpslang respektive släpfotsbill. Rutorna gödslades med 20 ton humanurin.

Tidpunkt

I bild 15 visas skörd med olika givor av humanurin vid två tillfällen. Under år 1998 var det inte någon stor skillnad mellan skörd i rutor som erhållit humanurin i vårbruk jämfört med rutor där humanurinen spridits i växande gröda. Detta trots att en startgiva tillförts i de senare rutorna, vilket i praktiken innebär att dessa har fått mer växtnäring. Under 1999 syns samma effekt vid låg tillförsel av humanurin medan hög tillförsel snarare har givit lägre skörd vid sommarspridning än vid vårspridning. Resultaten från försöket visar att det finns goda möjligheter att sprida humanurin i växande gröda utan större negativa konsekvenser för grödan. Detta innebär att tidpunkten för spridning sträcks ut från början av maj till ungefär mitten av juni i Stockholmstrakten. Däremot blir utnyttjandegraden av totalt tillfört kväve sämre med sommarspridning, se vidare avsnitt om växtnärbalans.

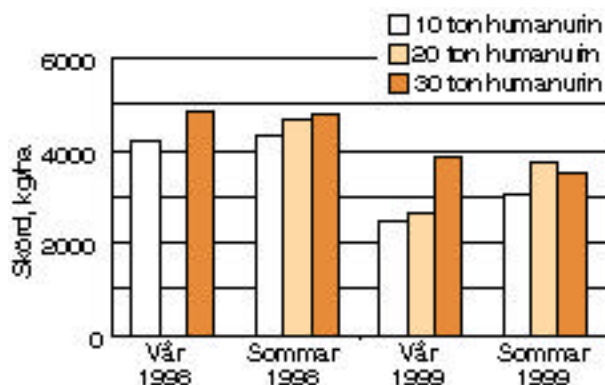


Bild 15. Skörd av korn vid gödning av humanurin med olika givor och spridningstidpunkt under 1998 och 1999. Rutor med spridning i växande gröda har fått en startgiva på våren och därmed en högre totalgiva.

Kväveupptag i gröda

Under 1997 fanns det signifikanta ($p < 0,05$) skillnader mellan upptag av kväve i rutor som gödslats med mineralgödsel och humanurin. Upptaget av kväve följde ett liknande förlopp som skörd, se bild 16.

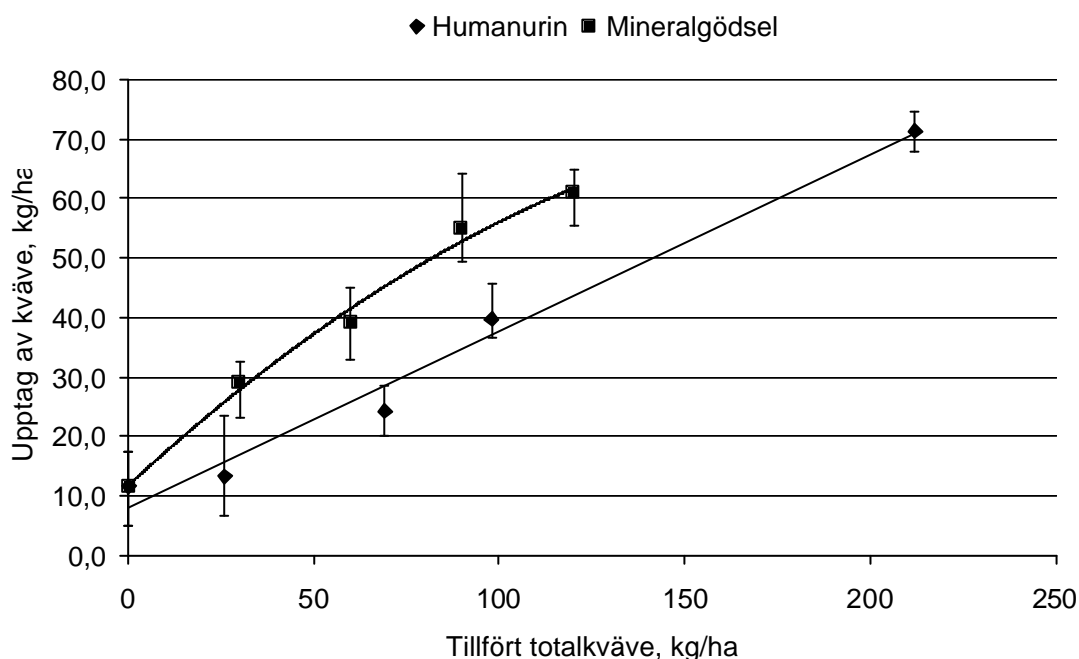


Bild 16. Upptag av kväve vid gödning med humanurin och mineralgödsel 1997.

Även under 1998 följer kväveupptaget samma mönster som skörden, dvs. stor variation och liten statistisk skillnad mellan behandlingarna, se bild 17. I och med att färre prover för kväveupptag togs är kurvorna mindre säkra.

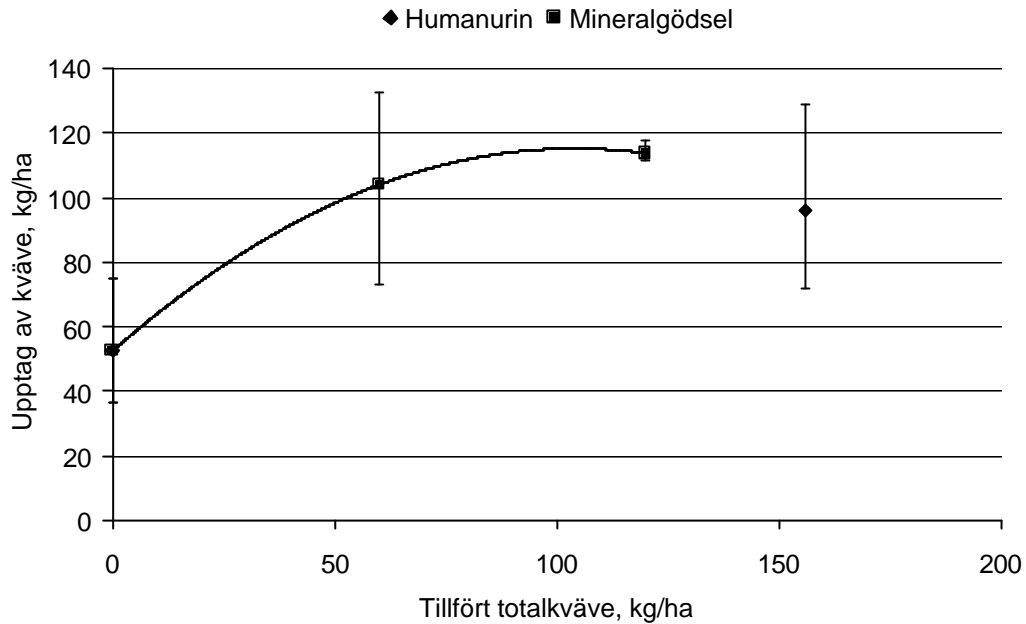


Bild 17. Uptag av kväve vid gödsling med humanurin och mineralgödsel 1998.

Även under 1999 följde upptag av kväve i grödan samma mönster som skörden, se bild 18. Undantaget är den högsta givan av urin där upptag i grödan inte avtog i samma grad som skördeökningen.

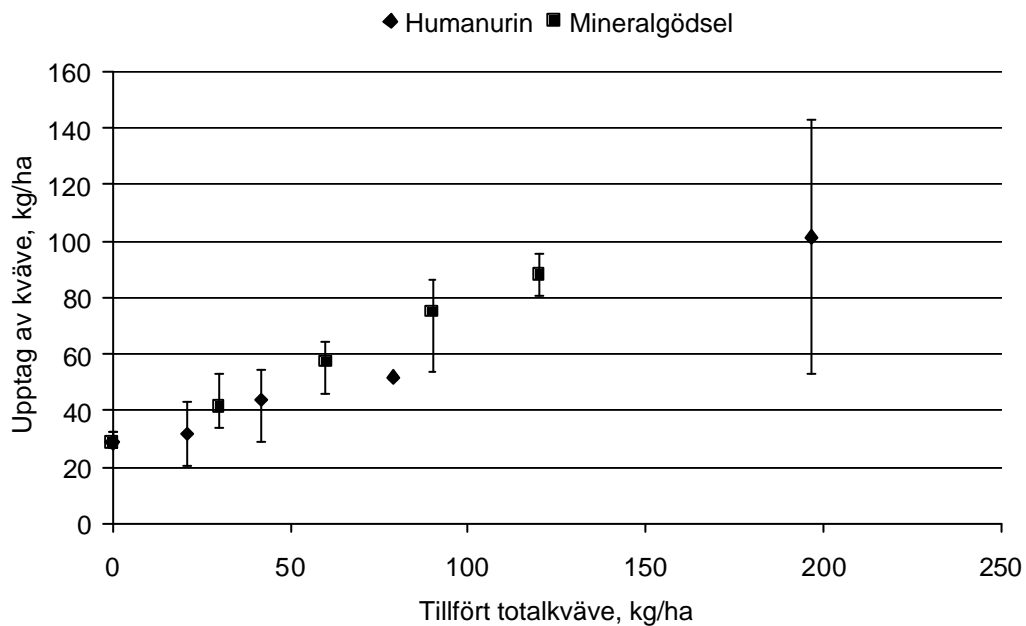


Bild 18. Uptag av kväve vid gödsling med humanurin och mineralgödsel 1999.

I avsnittet om kväveutnyttjande behandlas dessa siffror mer ingående, liksom uppgifter om kväveupptag i växande gröda.

Markens innehåll av mineralkväve

Provtagning av markens innehåll av mineralkväve visade att den omedelbara risken för kväveläckage inte var större vid användning av humanurin än när man använde mineralgödsel. Det fanns en tendens under 1999 att ökade givor av gödselmedlen, oberoende av gödselslag, gav ökade mängder mineralkväve i marken, men detta kunde inte ses under 1997 och 1998.

I bild 19 visas analysresultaten från 1997 års försök. Nivåerna av restkväve i marken varierade mellan 16 och 30 kg per hektar i 0-90 cm markdjup. Merparten av analyserna låg dock ganska väl samlade och då det endast analyserades som samlingsprov ledvis kan skillnaderna mellan leden inte avgöras. Det finns en tendens till ökad mängd restkväve i marken vid ökande giva av mineralkväve. Detta kan dock inte iakttas vid gödsling med humanurin.

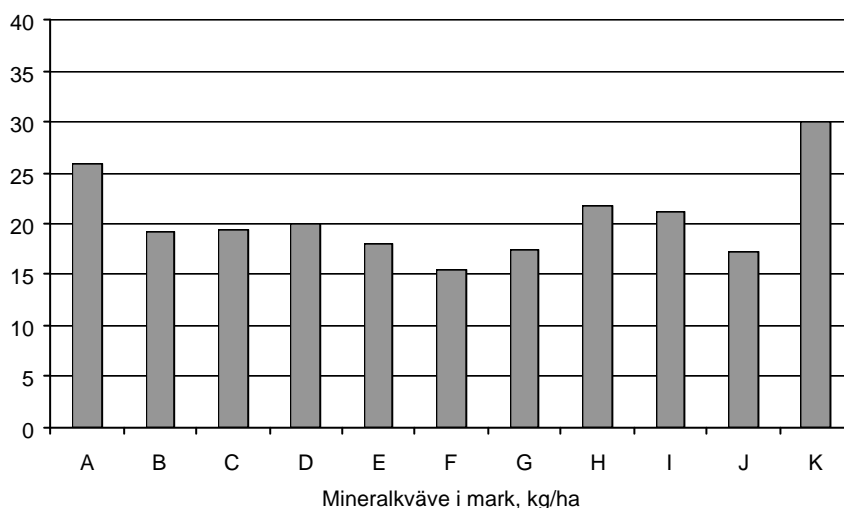


Bild 19. Mineralkväve ledvis provtagning 1997.

I bild 20 visas resultaten från 1998 års försök. Resultaten visar på mycket små skillnader mellan leden. Säsongens fuktiga ganska varma väder gav troligen en mineralisering av markens kväve som har utjämnat skillnaderna mellan leden. Dessutom har växterna haft en lång säsong att ta upp markens kväve.

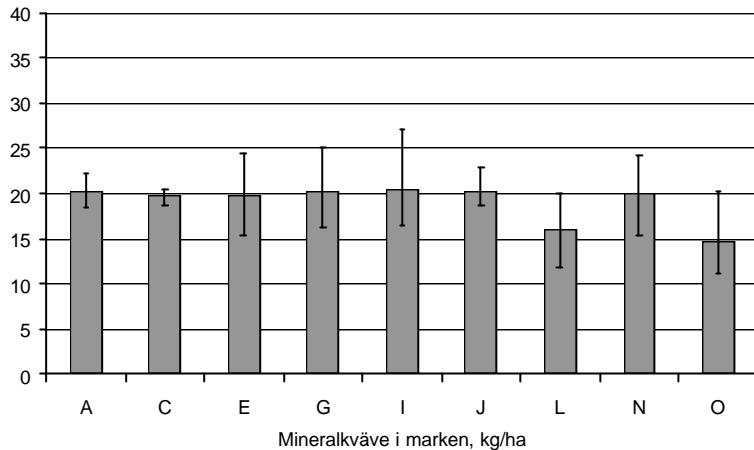


Bild 20. Mineralkväve i mark 1998, rutvis provtagning.

I bild 21 visas resultaten från 1999 års försök. Nivån på markens innehåll av restkväve var något högre detta år samtidigt som variationen mellan blocken var mycket stora i vissa led. Medelvärden i leden varierade mellan 22 och 43 kg per hektar. Det finns antydning till ökade mängder restkväve samt större variation vid högre givor av humanurin och mineralgödsel.

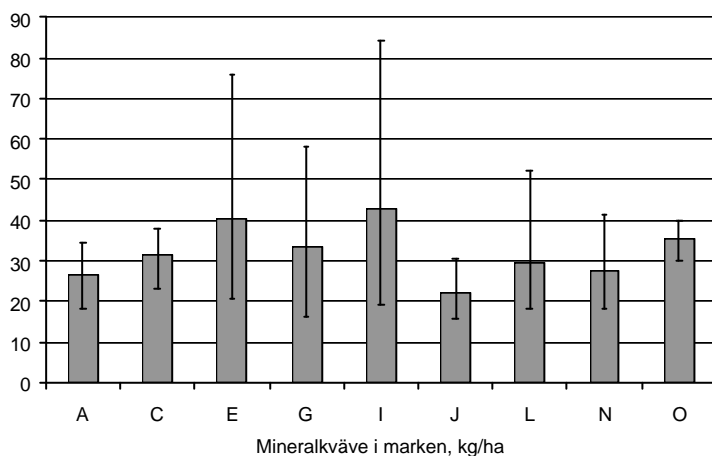


Bild 21. Mineralkväve i marken 1999, rutvis provtagning.

Växtnäringsbalans och växtnäringsutnyttjande

En växtnäringsbalans visar på flöden av växtnäring i odlingen. Balansen skall ses som ett redskap för odlaren i sitt arbete med att öka utnyttjandet av tillförd växtnäring och att minimera miljöbelastningen från odlingen. I bild 22 visas en balans från 1997 för de rutor som tillförts 90-98 kg kväve per hektar med humanurin och mineralgödsel. Balansen visar att trots att mängden restkväve som uppmättes vid skörd var lika för de två gödselmedlen så var mängden överskottskväve i rutor som gödslats med humanurin större än i rutor som gödslats med mineralgödsel.

Detta överskottskväve kan förloras till omgivningen genom denitrifikation eller utlakning, eller lagras in i det organiska materialet i marken.

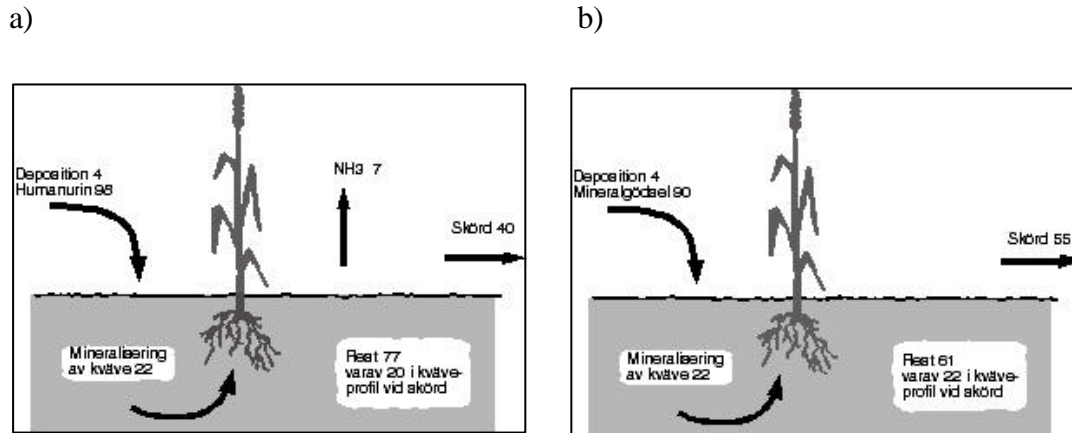


Bild 22. Växtnäringsbalans vid gödsling med humanurin och mineralgödsel 1997 (siffror anges i kg per hektar): a) humanurin b) mineralgödsel.

Graden av utnyttjande av kvävet vid vårspridning varierade mellan de två gödselmedlen under 1997 och 1999. Vid gödsling med humanurin under 1997 var mängden kväve som togs upp av grödan 41 % av mängden kväve som tillfördes. Vid gödsling med mineralkväve samma år var mängden kväve som togs upp av grödan 61 % av tillfört kväve. Motsvarande siffror för 1999 är 66 % respektive 83 %. Dessa siffror anger att det finns en mängd kväve som inte utnyttjats vid gödsling med humanurin. Denna mängd kväve kunde inte återfinnas vid provtagning av markens innehåll av mineralkväve efter skörd. Kvävet har antingen lagrats in i markens förråd av organiskt material eller denitrifierats under odlings-säsongen.

Praktiska erfarenheter från projektet

Spridning av humanurin med spridningsteknik för flytgödsel har fungerat väl. Humanurinen har inte skapat problem i form av igensättning av spridarutrustningen, något som kan uppstå t.ex. vid spridning av flytgödsel med högre innehåll av organiskt material. Ingen omrörning av gödselmedlet i tankarna innan spridning har behövts.

Ett klagomål som ofta uppstår vid spridning av gödsel är att det luktar illa. Vid spridningen av humanurin kändes en tydlig doft av gödselmedlet när man stod på fältet, men på endast kort avstånd från fältet var denna lukt inte besvärande. Humanurin tränger ner i marken efter spridning, vilket gör att eventuell olägenhet på grund av lukt avtar snabbt.

Diskussion

Humanurin som växtnäringskälla

Humanurinen innehåller växtnäring i en sammansättning som till stora delar tillfredsställer en stråsädesgrödans behov. Den kan därför mycket väl ersätta mineralgödsel som växtnäringskälla. Humanurinens innehåll av växtnäring i lättillgänglig form är intressant speciellt vid en eventuell framtida användning i ekologisk odling där tillgången på växtnäring ofta är begränsande samtidigt som kretslopp av växtnäring är en viktig grundtanke i ett uthållighetsperspektiv.

En viktig aspekt vid användandet av humanurin som gödselmedel är koncentrationen av växtnäring i lösningen. Den humanurin som användes i försöket blev allt mer utspädd mer åren. Stopp uppstod i toaletterna efter viss tids användning och rekommendationen blev då att användarna skulle spola mer, vilket antagligen varit en bidragande orsak till att urinen blev allt mer utspädd. I praktiken betyder det förhöjda kostnader i samtliga led och nästan fördubblad giva 1999 jämfört med 1997 vid samma mängd växtnäring tillförd med urinen. Tillförsel av 90 kg N per ha med humanurin motsvarade en giva av 24 ton per ha år 1997 och 45 ton per ha år 1999.

Skörderesultaten varierar mycket mellan åren och årsmånerna har haft stor betydelse för resultaten. Tillgången på vatten påverkar skördeutfallet i stor grad. Det ogödslade ledet visar på årsmånens betydelse. Den lägsta skörden i ogödslat led erhöles 1997 då skörden var ca 700 kg per hektar i medel. Högst skörd i ogödslat led erhöles 1998 med nästan tre ton per hektar. Årsmånerna återspeglas också i det utslag som tillförd växtnäring ger. 1997 var skillnaden mellan ogödslat och gödslat led betydligt större än för 1998. Det kan bero på att tillgången på växtnäring mineraliserat från marken är lägre ett torrare år jämfört med ett blött år och därför är behovet av tillförd lättillgänglig växtnäring större. Vattenbrist kan dock leda till att växten inte kan utnyttja tillförd lättillgänglig växtnäring fullt ut (Mengel & Kirkby, 1987). Detta leder till en sämre resultat vid beräkning av en växtnäringsbalans.

Humanurin och mineralgödsel gav olika respons på skörd och kväveupptag i kärna. Detta kan bero på olika egenskaper hos gödselmedlen. I mineralgödseln återfinns kvävet både i form av ammonium och nitrat medan humanurinen innehåller ammoniumkväve samt mindre mängd organiskt bundet kväve. Eftersom humanurinen är i flytande form tränger den snabbt ned i marken där ammoniumjoner till viss del fixeras vid lermineraler (Paul & Clark, 1996). Det organiskt bundna kvävet i humanurinen måste omsättas innan det kan bli tillgängligt. Växten konkurrerar också om ammoniumkvävet med markens mikroorganismer som binder, immobiliserar, det i biomassan (Paul & Clark, 1996). Detta kväve kan sedan bli växttillgängligt igen när biomassan omsätts efter några veckor. Denna konkurrens kan ge en fördröjning av växtens möjlighet att utnyttja tillfört kväve.

Vid val av spridningstidpunkt har försöken visat att tidpunkten för spridning i vårsäd kan sträckas ut fram till mitten av juni i Stockholmstrakten. Detta innebär möjlighet att sprida humanurinen på större arealer än om bara vårspridning är aktuellt. I försöken visades dock på en något större post restkväve i växtnäringsbalanser vid sommarspridning av humanurin jämfört med vårspridning. Det är osäkert vad detta har för betydelse för risken för växtnäringsläckage på längre

sikt. Den större andelen restkväve kunde dock inte påvisas i fältförsökets markprovtagningar.

Spridningsteknik

Spridning av humanurin med spridningsteknik för flytgödsel har fungerat väl. Humanurinen har inte skapat problem i form av igensättning av spridarutrustningen, något som kan uppstå t.ex. vid spridning av flytgödsel med högre innehåll av organiskt material. Ingen omrörning av gödselmedlet i tankarna innan spridning har behövts.

Släpfbilen har under rådande fältförhållanden myllat urinen tillfredställande, vilket resulterat i låga ammoniakförluster och lika stora eller högre skördar jämfört med bandspridning med släpslangar.

Vid spridning i växande gröda kan det med släpfbillar finnas risk för fysiska grödskador, speciellt om körningen sker parallellt med såraderna. Vid de fuktiga förhållanden som rådde 1998, klubbade jord fast på billen och den förstörade billen lyfte plantorna när billens position sammanföll med en sårad. Detta verkade dock inte ha påverkat avkastningen negativt.

Ammoniakavgång

Spridning i vårbruket: I genomsnitt över åren för de olika givorna med bandspriden humanurin var kväveförlusten som ammoniak ca 5 % av utspridd mängd kväve med urinen. Urinen har då harvats ned 4 timmar efter spridning. Hur stora förlusterna blivit om urinen inte harvats ned är okänt. Konstaterbart är dock att efter nedharvningen har i så gott som samtliga fall ammoniakavgången varit obetydlig. Storleken på totala förlusterna ligger i paritet med tidigare försök med svinurin (Rodhe & Johansson, 1996). Urinens höga infiltrationsförmåga har bidragit till god kontakt mellan mark och urin. Urinens höga pH har inte som kunde förväntas inneburit hög ammoniakavgång. För minimerad ammoniakavgång bör humanurinen brukas ned snabbt efter spridning, vilket säkrast uppnås med myllning i samma moment som spridning, t.ex. med använda släpfbillar.

Spridning i växande gröda: Vid spridning i växande korn (år 2) var förlusterna knappt mätbara efter bandspridning respektive myllning med släpfbillar. Vid den tidpunkten gav grödan ett vind- och solskydd av markytan och släpfbillarnas myllning verkar inte gett någon ytterligare effekt på ammoniakavgången. Innan släpfbillar är mer provade i växande gröda kan därför bandspridning med släpslangar rekommenderas i första hand. Under tredje året utfördes inte några ammoniakmätningar vid den andra spridningstidpunkten av besparningsskäl.

Växtnäringsutnyttjande

Växternas utnyttjande av tillfört kväve var något lägre i led med humanurin jämfört med led med mineralgödsel. Under 1997 utnyttjades 41 % av tillfört kväve vid en giva på 98 kg per hektar och 1999 utnyttjades 66 % av de 79 kg som tillfördes med humanurinen. Detta kan jämföras med Lindéns försök (1997) där havren beräknades ha utnyttjat 52 % av tillfört kväve vid gulgrodnad när givan var 90 kg per hektar. Variationen i utnyttjandegrad är stor beroende på årsmånen,

markens leveransförmåga och gödselgivornas storlek. Utnyttjandegraden av humanurinens kväve var något lägre än vid tillförsel av kväve med mineralgödsel. Inom detta försök utnyttjade grödan 20 % mer av kvävet som tillförts med mineralgödsel jämfört med humanurinen. Trots detta kunde ingen skillnad ses i markens innehåll av restkväve. Detta skulle kunna bero på de tidigare diskuterade skillnader vad det gäller bindning till markens partiklar samt i markens biomassa. Vari dessa skillnader ligger kan dock inte besvaras inom detta försök.

Framtida studier

Föreliggande studier samt studier utförda av Lindén (1997) har bidragit till att öka kunskapen om humanurin som gödselmedel till stråsäd. Fortfarande är dock antalet försök mycket obetydligt sett i relation till hur väl mineralgödselmedel har studerats. För att humanurinen ska kunna ses som ett intressant alternativ till mineralgödsel önskar lantbrukare god dokumentation om förväntad effekt under olika förhållanden. Så förutom ytterligare försök under olika förutsättningar är det av intresse att göra motsvarande studier även i andra grödor. Det skulle också vara intressant att se den potentiella ammoniakavgången från utspridd humanurin när den inte brukas ned. Detta för att utröna den optimala tidpunkten för nedbrukning. Om det är så att största delen redan har avgått 4 timmar efter spridning bör nedbrukningen utföras närmare inpå spridningen för att den ska ha en god ammoniakminskande effekt.

Tendensen att urinen blev mer utspädd under årens lopp är en faktor som fördyrar hanteringen och minskar intresset för humanurinen som gödselmedel. I framtida studier bör det finnas utrymme för att närmare se på om det går att få en mer koncentrerad produkt genom förbättrad teknik eller genom någon typ av förädling av produkten.

För att skapa förtroende för humanurinen som gödselmedel är det viktigt med en väl grundad och dokumenterad riskbedömning. En viktig frågeställning är rester av läkemedel i urinen. Tidigare undersökningar tyder på låga halter men ytterligare forskning behövs kring koncentration av aktiva substanser och deras metaboliter samt hur dessa bryts ned i marken. Även andra smittskyddsfrågor som berör hur hantering, lagring och spridning ska gå till behöver belysas.

Slutsatser

- Humanurin är ett snabbverkande gödselmedel som kan ersätta mineralgödsel i spannmålsproduktionen.
- Gödsling med ca 100 kg kväve i humanurin gav under åren 1997-1999 en skörd motsvarande ca 70-100 % av vad 100 kg kväve i mineralgödsel producerade.
- Det finns goda möjligheter att sprida humanurin när grödan har nått en höjd av 20-30 cm utan större negativa konsekvenser för grödan.
- Kväveförlusten i form av ammoniak på våren var i genomsnitt över de tre åren ca 5 % av utspridd mängd kväve, när urinen bandspreddes och harvades ned 4 timmar efter spridning. Som högst uppmättes en förlust strax under 10 % vid spridning av 60 ton/ha på våren.

- Vid direkt myllning av urinen med släpfbillar var ammoniakavgången låg. Cirka 1 % av utspridd mängd kväve avgick i form av ammoniak vid värspridning.
- Vid mätning av ammoniakavgång i växande korn var förlusterna knappt mätbara efter bandspridning respektive myllning med släpfbillar.
- Risken för kväveläckage är inte större vid användning av humanurin än när man använder mineralgödsel.

Referenser

- Alskog, G., 1994. Urin till vall och brännskador efter spridning. Examensarbete nr 92. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för växtnäringslära, SLU, Uppsala.
- Brundin S. & Rodhe L., 1990. Ekonomisk analys av hanteringskedjor för stallgödsel. JTI-rapport 118, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Fernholm, M., 1999. Erfarenheter av sorterad humanurin i lantbruket. Resultaten från en intervjustudie. Examensarbete inom hortonomprogrammet 1999:13. SLU, Alnarp.
- Hennichs, M., 1998. Humanurin i grönsaksodling – användning samt teknik för transport, lagring och spridning. Examensarbete nr 4. Institutionen för lantbruksteknik. Avdelningen för park- och trädgårdsteknik. SLU, Alnarp.
- Höglund, C., 2001. Evaluation of microbial health risks associated with the reuse of source-separated human urine. Doctoral thesis. Department of Biotechnology, Applied Microbiology, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Iversen, K., 1947. Stalgödningens Anvendelse. Svenska Vall och Mosskultur-föreningens Kvartalsskrift 2.
- Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., Richert Stintzing, A. & Rodhe, L., 2000. Urinsortering – en del i kretsloppet. Slutrapport från FoU-projektet ”Källsorterad humanurin – en framtida växtnäringskälla för jordbruk runt Stockholm?”. ISBN91-540-5860-0. Byggeforskningsrådet, Stockholm.
- Johansson, W. & Linnér, H., 1977. Bevattning, behov – effekter – teknik. LTs förlag, Borås.
- Jordbruksverket, 1999. Riktlinjer för gödsling och kalkning. SJV Rapport 1999:26. Statens jordbruksverk, Miljöenheten, Jönköping.
- Jönsson, H., Burström, A. & Svensson, J., 1998. Mätning på två urinsorterande avloppssystem – urinlösning toalettanvändning och hemvaro i en ekoby och ett hyreshusområde. Rapport 228. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.
- Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T. A., Dalhammar, G. & Kirchmann, H., 2000. Källsorterad humanurin i kretslopp. VA-FORSK Rapport 2000-1. VAV AB, Stockholm.
- Karlsson S., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid lagring av stallgödsel. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 228, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Kirchmann H. & Pettersson S., 1995. Human urine – Chemical composition and fertilizer use efficiency. Fertilizer Research 40: 149-154.
- Kvarmo, P., 1998. Humanurin som kvävegödselmedel till stråsäd. Examensarbete 107. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för växtnäringslära, SLU, Uppsala.

- Lindén, B., 1980. Mineralkväve i åkerjordar i Halland och Uppland. Rapport 125, s 1-58. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, Uppsala.
- Lindén, B., 1987. Mineralkväve i markprofilen och kvävemineralisering under växtsäsongen. I: Kvävestyrning till stråsäd – dagsläge och framtids-möjligheter. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien, rapport nr 24, 23-46.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Soergaard, K. & Kjellerup, V. 1992. Nitrogen Mineralization during the Growing Season. 1. Contribution to the nitrogen supply of Spring Barley. Swedish J. Agric. Res. 22:3-12.
- Lindén, B., Gustafson, A., Torstensson, G. & Ekre, E., 1993. Mineralkvävedynamik och växtnäringsutlakning på grovmjord i södra Halland med handels- och stallgödslande odlingssystem med och utan fånggröda. Ekohydrologi 33. Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Linnér, H., 1980. Bevattningstvattnets kvalitet. Stencil. Försöksavdelningen för hydroteknik. Stencil 8 s. SLU, Uppsala.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Institute of Plant Nutrition. University of Hohenheim. Academic Press. London.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A., 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition, International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Palm, O., Löwgren, M. & Wittgren, H-B., 2000. Slutrapport från FoU-programmet Organiskt avfall som växtnäringsresurs. Rapport 2000-9. VAV AB, Stockholm.
- Paul, E.A. & Clark, F.E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. Second edition. Academic Press, USA.
- Rodhe, L. & Johansson, S., 1996. Urin – spridningsteknik, ammoniakavgång och växtnäringsutnyttjande. JTI-rapport nr 217. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- SAS Institute Inc, 1994. SAS/STAT® User's Guide, Version 6, Fourth Edn, Cary, NC, USA.
- SCB, 1997. Normskördar för skördeområden, län och riket 1997. Rapport från skördeuppskattningarna. Statistiska meddelanden J15 SM 9701. Örebro.
- SCB, 1999. Kväve och fosforbalanser för svensk åkermark och jordbrukssektor 1997. Mi 40 SM 9901. SCB, Programmet för miljöstatistik. Stockholm.
- SMHI, 1991. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-90 : referensnormaler. SMHI Meteorologi nr 81. Norrköping.
- Steineck, S., Gustafson, G., Andersson, A., Tersmeden, M. & Bergström, M., 1999. Stallgödselns innehåll av växtnäring och spårelement. Naturvårdsverket. Rapport 4974. Stockholm.
- Steineck, S., Gustafson, A., Richert Stintzing, A., Salomon, E., Myrbeck, Å., Albiñ, A. & Sundberg, M., 2000. Växtnäring i kretslopp. SLU Kontakt 11, SLU, Uppsala.
- Svensson L. & Ferm M., 1993. Mass transfer coefficient and equilibrium concentration as key factors in a new approach to estimate ammonia emission from livestock manure. Journal of Agricultural Engineering Research 56(1):1-11
- Torstensson, G., 1998. Nitrogen availability for Crop Uptake and Leaching. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Agraria 98. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Doctoral thesis.
- Vinnerås, B., 1998. Källsorterad humanurin – skiktning och sedimentering samt uppsamlad mängd och sammansättning. Examensarbete. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala.