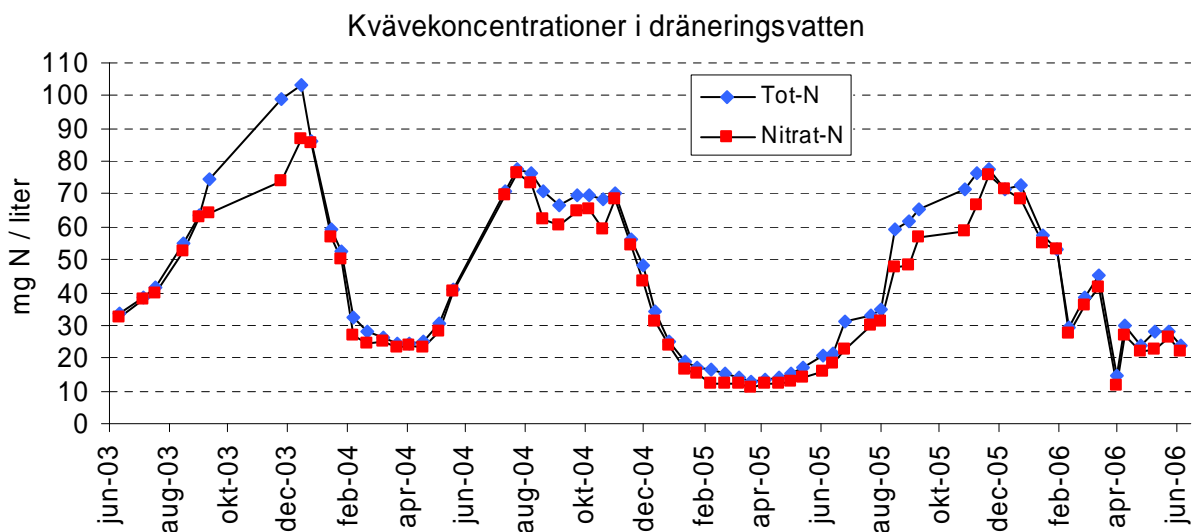


Gunnar Torstensson och Håkan Sandin

Utlakning av kväve i fältmässig frilandsodling av sallat

Nitrogen leaching in field-grown lettuce



Ekohydrologi 95

Uppsala 2007

Avdelningen för vattenvårdslära

Swedish University of Agricultural Sciences

ISRN SLU-VV-EKOHYD--95--SE

Division of Water Quality Management

ISSN 0347-9307

INNEHÅLL

| | |
|--|-----------|
| SAMMANFATTNING | 3 |
| BAKGRUND OCH SYFTE | 4 |
| MATERIAL OCH METODER | |
| Observationsfältet | 4 |
| Mätstation | 5 |
| Utlakning av kväve | 5 |
| Mineralkväve i marken | 6 |
| Skördeuppskattning och kväveupptag i grödor | 6 |
| Rapportering av odlingsåtgärder, gödsling etc | 6 |
| RESULTAT OCH DISKUSSION | |
| Odlingsåtgärder och gödsling | 7 |
| Nederbörd och avrinning | 7 |
| Produktskördar och kväveutlakning | 9 |
| Kvävekoncentrationer i dräneringsvattnet | 10 |
| Mineralkväve i markprofilen | 11 |
| Resultat från demonstrationsodlingen 2005 | 12 |
| Framtida studier, några tankar om förbättringsmöjligheter | 14 |
| RESULTATSPRIDNING | 15 |
| REFERENSER | 16 |
| Nitrogen leaching in field-grown lettuce (English version) | 17 |

Tillkännagivanden

Den redovisade observationsstudien har bedrivits med medel från SLF, Sydgrönt och SLU. Projektets ursprungliga titel var ”Utlakning av växtnäring i fältmässig frilandsodling av sallat”, men olika omständigheter gjorde att studien enbart blev inriktat på kväve. Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan avdelningen för vattenvårdslära vid SLU, Sydgrönt och Håkan Sandin, potatis- och grönsaksansvarig vid SJV, Alnarp.

Fältet där studien utförts har ställts till förfogande av lantbrukare Berth Johansson, Öllöv, som också självständigt svarat för den praktiska odlingen. Vattenprovtagning, tillsyn av mätstation och loggertömning utfördes till att börja med av gårdens personal, men senare av lantbrukare Per Wiik. Skötsel av demoparceller liksom jordprofilprovtagningar och jordextraktioner har utförts av försökspersonalen vid Lilla Böslid, Hushållningssällskapet Halland. Grödprover och jordextrakten för mineralkvävebestämning har analyserats vid avdelningen för växtnäringslära, SLU.

Utlakning av kväve i fältmässig frilandsodling av sallat

SAMMANFATTNING

Våren 2003 anlades ett ca 0,8 ha stort observationsfält på sydslutningen av Bjärehalvön med syftet att under tre år registrera kväveläckaget via dräneringsvattnet från en intensiv sallatodling. Jordarten var moränsand. Vattenflödet mättes kontinuerligt och vattenprov uttogs flödesproportionellt. Grödorna var bäddodlad sallat i två kulturer per år. Ca 75% av fältytan utgjordes av odlingsbäddar. I den första kulturen odlades planterad sallat och i den andra s.k. babyleaf (späd bladsallat) som såddes med 12 cm radavstånd. Två av åren odlades fånggröda (havre) efter avslutad skörd av den sista kulturen. Odlingen sköttes av odlaren på vanligt sätt, gödsling etc. och skördar rapporterades årligen.

I medeltal var den årliga kvävetillförseln ca 350 kg/ha bädd (drygt 260 kg/ha fältareal). Total medelskörd per år var 33 ton/ha färskvikt och N-skörden 92 kg/ha. N-koncentrationerna i dräneringsvattnet varierade mellan 11 och 103 mg N/liter, och årsutlakningen av total-N mellan 42 och 128 kg/ha. Den sammanvägda medelhalten under hela perioden blev för totalkväve 42 mg N/liter och för nitratkväve 38 mg N/liter. Den årsvisa medelutlakningen blev 95 resp. 87 kg N/ha.

Sista året, 2005, genomfördes ett enkel demoförsök med isbergssallat där effekten på gröda och mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) i marken av tre olika gödslingsstrategier och gödslingsnivåer studerades. Resultaten visade bl.a. att man kan sänka startgivan vid planteringen till 1/3-del om man placerar gödseln enbart invid plantan, i stället för att fördela den jämnt över hela bäddytan, utan att plantvikten vid skörd minskade. Att placera en låg giva startgödsel bara omkring plantan gjorde också att man hittade betydligt mindre restkväve djupt nere i marken vid skörd.

Med stor sannolikhet går det att få ett bättre utnyttjande av kväve och att sänka kväveutlakningen genom att utveckla bättre gödslingsstrategi och gödslingsteknik. Men det behövs också förbättrad kunskap om grödornas egentliga kvävebehov eftersom mängden kväve man behöver använda tycks vara starkt förknippad med vilken teknik eller strategi man använder att tillföra gödseln. Detta gäller inte bara kvävet utan kan vara lika viktigt när det gäller andra växtnäringsämnen, som t.ex. fosfor.

Metoden att placera en låg startgiva nära den späda plantan känns värd att utveckla vidare, men den måste kompletteras med lämpliga gödslingsnormer för hela växtperioden. Genom att placera gödsel nära plantan säkerställs den nysatta plantans tillgång till både fosfor och kväve. Dessutom undviker man att gödsla markytor som ännu inte innehåller några växtrötter som kan ta upp näring och vatten. Därigenom minimerar man risken att gödselkväve från startgivan som befinner sig vid sidan om den aktuella rotzonen lakas ner till markskikt nedanför grödans maximala rotdjup. Nerlakningen vid sidan om rotzonen förstärks av att det där inte heller sker något vattenupptag som minskar den neråtgående vattenströmmen vid nederbörd och bevattning.

BAKGRUND OCH SYFTE

Tidigare undersökningar i södra Sverige har visat att intensivodlade grönsaker på friland, som sällat av olika slag, successivt under en odlingssäsong riskerar bygga upp stora mängder restkväve i markprofilen. Detta restkväve tvättas sedan ut under vinterhalvåret (Torstensson, 2002). Denna utlakning kan ha stor betydelse i den lokala recipienten, även om odlingen totalt i landet inte omfattar särskilt stora arealer. Sallatsodlingen på friland sker ofta på mycket väl-dränerade lätta jordar som värms upp snabbt på våren. Många av dessa jordar ligger nära kusten, sjöar eller vattendrag och i naturkänsliga områden. Större delen av grönsaksodlingen är dessutom placerad i de sydliga länen, där trycket på miljön är som störst.

För att främja utvecklingen av miljöriktiga odlingsåtgärder samt att söka ny kunskap anlades våren 2003 ett ca 1 ha stort observationsfält vid Öllöv på sydslutningen av Bjärehalvön för att bedriva monitorverksamhet/forskning. Dräneringssystemen från området mynnar i ett naturvårdsområde i direkt anslutning till havet (Skälderviken). Syftet med de inledande tre årens observationer var att registrera vad som händer i en intensiv sällatodling avseende näringsläckage via ett avgränsat dräneringssystem.

För att få en så rättvisande bild av verkligheten som möjligt var målsättningen att inte påverka odlarens skötsel av fältet. I vilken mån detta mål gick att uppfylla är svårt att avgöra, dels var lantbrukaren mycket intresserad och nyfiken på resultaten, dels ställde finansiären krav på att en årlig demonstrationsodling (ofinansierad), med någon modifierad variant av fältets skötsel, skulle ingå i projektet. Det senare medförde att så detaljerade uppgifter som möjligt om den kommande odlingen fick lov att inhämtas från odlaren i förväg. Det hela komplicerades av att grönsaksodlingen i området är mycket starkt marknadsstyrd, vilket innebar att de demoplaner som gjordes upp inför varje odlingsår alltid blev mer eller mindre omkullkastade med mycket kort varsel.

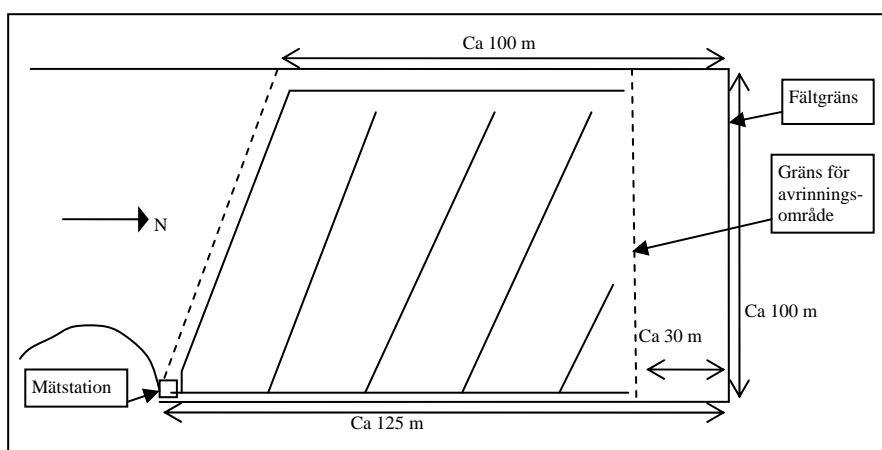
MATERIAL OCH METODER

Observationsfältet

Skiftet där observationsstudierna gjordes tillhör Öllövsgårdens AB och är beläget på Bjärehalvöns sydsluttning. Jordarten är moränsand i både matjord och alv (tabell 1). Odlingen domineras av olika sallatsslag och färskpotatis. Sallat odlades på bäddar, ca 1,6 m breda och med ca 2 m c/c-avstånd. Plantavståndet för planterad sallat var ca 30 cm både i och mellan raderna. Babyleaf såddes med ca 12 cm radavstånd. Plantering/sådd och skörd skedde i 2-6 omgångar per kultur. Den första kulturen planterades i mars och täcktes med duk. Kultur 2 såddes i slutet av juni eller första halvan av juli. Startgivan av kväve (80-120 kg N/ha) liksom grundgödsling med P och K myllades jämnt fördelad över hela bäddytan före plantering eller sådd. Ca tre veckor senare togs matjordsprov (0-25 cm) som analyserades med avseende på nitrat-N med hjälp av Nitracheck-mätare. Med ledning av erhållet värde skedde sedan uppgödsling till viss nivå (börvärde, t.ex. 160 kg N/ha bäddyta till isbergssallat). Bara ett fåtal av dessa analysresultat har rapporterats in varför ingen närmare utvärdering av den delen kan göras.

Tabell 1. Jordens mekaniska sammansättning (vikt-%)

| Markskikt | Ler (mm) d<0,002 | Finmjäla 0,002- 0,006 | Grovmjäla 0,006- 0,02 | Finmo 0,02- 0,06 | Grovmö 0,06- 0,2 | Mellansand 0,2- 0,6 | Grovsand 0,6- 2 | Grus 2,0- 20 | Mullhalt (Glödförlust) % |
|-----------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------------|
| 0-30 cm | 3,6 | 1,1 | 1,8 | 4,2 | 5,9 | 26,2 | 24,5 | 30,3 | 2,4 |
| 30-60 cm | 2,2 | 0,6 | 1,9 | 3,3 | 5,5 | 30,2 | 30,3 | 24,5 | 1,5 |
| 60-90 cm | 1,3 | 0,5 | 1 | 1,8 | 3,8 | 31,6 | 39,3 | 19,8 | 0,8 |



Figur 1. Skiss över observationsfältet med dräneringssystem och uppskattade gränser för avrinningsområdet.

Mätstation

Mätstationen var ansluten till utgående stammen från ett väl avgränsat och dokumenterat dräneringssystem som omfattade ca 0,8 ha (Figur 1). Mätstationen utgjordes av en betongbrunn (150 cm Ø) överbyggd med ett värmeisolerat hus (ca 2,5x2,5 m). Mätningarna startade första dagarna i juni månad 2003 och pågick till slutet av maj 2006.. Lokal nederbörd erhöles antingen från en klimatstation belägen något 100-tal meter från fältet, eller då dessa inte fanns tillgängliga, från Mellby i södra Halland (avd. för vattenvårdslära, SLU).

Utlakning av kväve

Vattenflödet från dräneringssystemet mättes med triangulärt överfall (90°). Vattenståndet över V-spetsen mättes kontinuerligt med hjälp av displacementkropp och lastcell (elektronisk våg) kopplad till en datalogger (CR10X, Campbell Sci.). Vid varje provtagningsbesök mättes det aktuella vattenståndet över V-spetsen även manuellt för att erhålla en fortlöpande kontroll av det vattenstånd som loggern registrerade.

Vattenprovtagningen skedde automatiskt genom att ett flödesproportionellt samlingsprov togs ut med hjälp av en peristaltisk pump kopplad till loggern. Dataloggern beräknade och ackumulerade fortlöpande avrunnen vattenvolym. Då en förinställd volym uppnåtts aktiverades en peristaltisk pump som, efter en kort utåtpumpning för att rensa slangmynningen, sög upp ett delprov om ca 15 ml till samlingsprovet, efter provtagningen reverserades pumpen så att slangen tömdes. Den förinställda avrinningsvolymen mellan två provtagningar motsvarade en avrinning på ca 0,1 mm. Samlingsprovets koncentration fick representera den under provtagningsperioden avrunna vattenmassans koncentration. Provet förvarades under tiden mörkt och svalt i brunnen. Vid provuttagningen (var 14:e dag) omblandades vattnet och delprov uttogs i mindre flaskor för analys vid det Swedac-ackrediterade laboratoriet vid avd. för vattenvårdslära, SLU. Vattenanalysen omfattade nitrat- och totalkväve.

Årsvis utlakning beräknades för perioden 1 juni odlingsåret till 31 maj efterföljande år. Koncentrationen av kväve i varje samlingsprov multiplicerades med alla dygnsavrinningar

mellan föregående provtagningstillfälle och det nu aktuella. Dygntransporterna summerades till månads- och årstransporter. Perodvisa medelkoncentrationer beräknades genom att dividera summa utlakning med summa avrinning under perioden.

Mineralkväve i marken

Mineralkväve i markprofilen bestämdes vid normalt tre tidpunkter per år; före gödsling på våren, efter skörd av grödkultur 1 samt sen höst (november). Längs en linje diagonalt över observationsområdet togs slumpvis fördelat ca 24 stick i skiktet 0-30 cm, samt 18 stick i vardera av skikten 30-60 och 60-90 cm (Lindén, 1977 och 1979). Borrsticken slogs samman till skiktvisa samlingsprov. Jordproverna förvarades djupfrysta och extraherades med 2M KCl för bestämning av ammonium- och nitratkväve. Analysvärdena omräknades till kilogram kväve per hektar med beaktande av markskiktens volymvikter och aktuella vattenhalter.

Skördeuppskattning och kväveupptag i grödor

Stickprov på avsaluprodukt resp. kvarlämnade skörderester togs av försökspatrull (HS, Halland) inom 2 slumpmässigt valda skördeområden. Varje delmätning omfattade en bäddyta om 10 plantplatser av planterad sallat. Av sådd sallat skördades ett 30 cm brett stråk tvärs över hela bädden. Avsaluprodukten analyseras med avseende på total-N, och skörderesterna på N och C. Provtagningarna får i första hand ses som en kvalitativ provtagning av den skördade produkten. Två stickprov i en odling med 2-6 odlingsomgångar per kultur ger inget underlag för relevant kvantitetsuppskattning. De skördeuppgifter som anges för den ordinarie odlingen är de av lantbrukaren uppgivna hektarskördarna av bortförda avsaluprodukter.

Rapportering av odlingsåtgärder, gödsling etc.

Odling och övriga brukningsåtgärder utfördes av odlaren på dennes normala sätt. Det var avtalat att närvaron av observationsförsöket inte skulle få påverka mark-användning och odlingsmetoder. Efter varje avslutad odlingssäsong rapporterade lantbrukaren utförda odlingsåtgärder, såsom givor av olika gödselmedel (kg per hektar bäddareal) datum eller tidsperiod för plantering/sådd, jordbearbetningar, gödslingar, skörd, samt aktuella skördar (per hektar fältareal) av avsaluprodukt från varje kultur.

Sättet att ange arealunderlaget måste uppmärksammas när bäddodlade grödor diskuteras. Gödselspridaren gick enbart över bäddyten och doseringen baserades på överfaren areal (=bäddareal), medan skördeuppgifter och utlakning baserades på hela den aktuella fältarealen, inkl körspåren mellan bäddarna etc. Vid jämförelser mellan N-gödsling, N-skörd och N-utlakning har därför de uppgivna gödselgivorna omräknats till hektar fältareal genom att multiplicera med faktorn 0,75 (75% av fältarealen beräknades utgöras av bäddareal).

Demonstrationsodling. Då demoodlingen inte fick störa den ordinarie odlingen, fick odlingen lov att förläggas till en fältkil intill mätstationen som oftast inte användes i den vanliga odlingen. De tidigare nämnda svårigheterna att i förväg planera orsakade problem. Två av åren gavs i januari-februari beskedet att det skulle bli färskpotatis som första kultur. Båda åren planterades sallat i mars. En genomtänkt demoodling visade sig omöjlig att genomföra under sådana förhållanden. Ansatser till demoodling gjordes, men det är bara att konstatera att demoodlingen misslyckades de två första åren. Kostnaderna för demoodlingen täcktes genom nerskärning av andra planerade provtagningar och analyser. Det innebar bl.a. att analysomfånget på dräneringsvattnet halverades (mätningen av P- och K-utlakning utgick), antalet skördeprovtagningar halverades samt att PK-analyserna på skördeprodukter och dubbelproven i matjorden för mineralkvävebestämning slopades.

Det sista året (2005) anordnades en demoodling som var helt frikopplad från den ordinarie odlingen med tre led i isbergssallat, och där försökspatrull hyrdes in för såväl plantering, gödsling, provtagning och skörd. Denna odlingen bekostades delvis med andra medel.

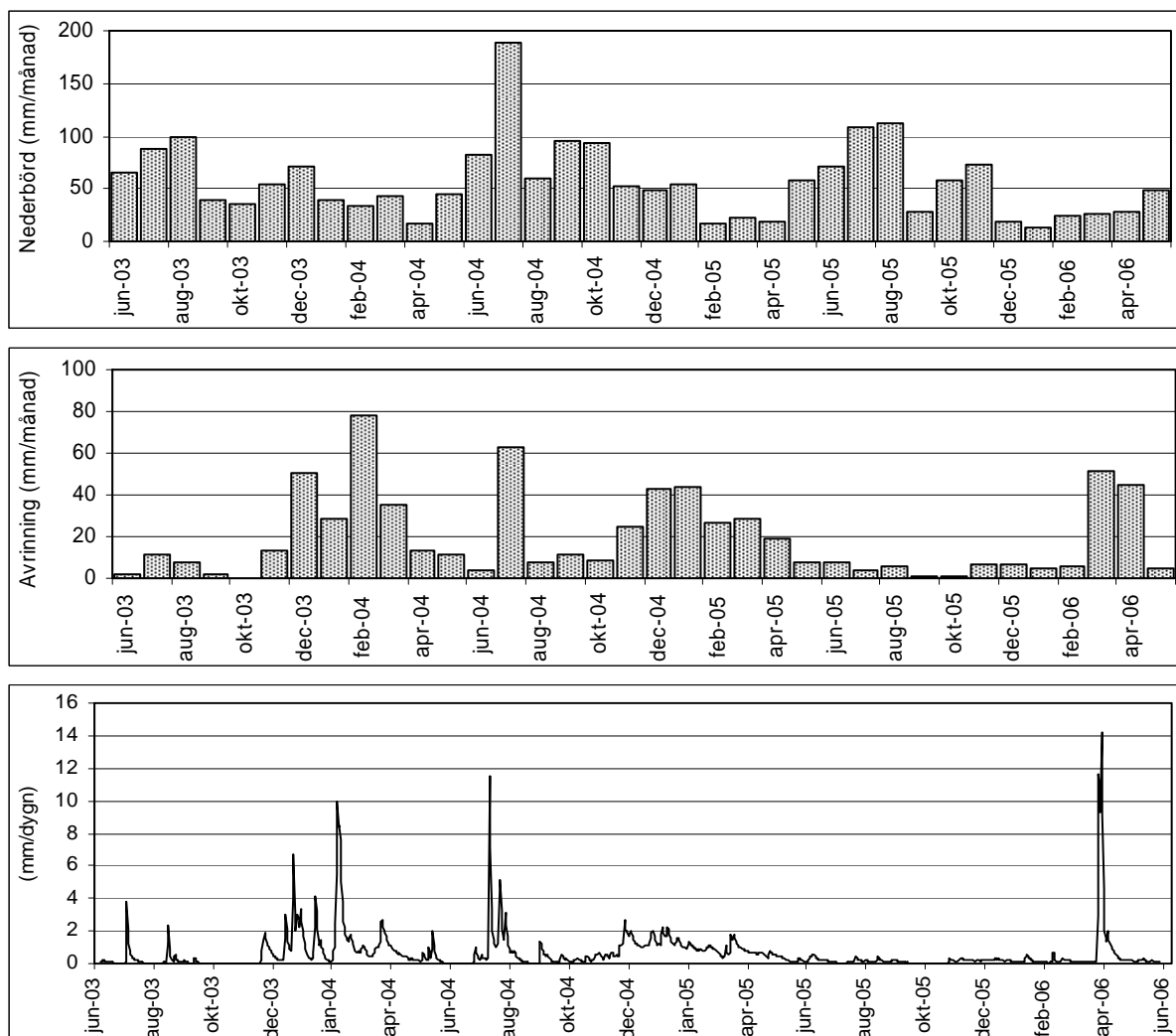
RESULTAT OCH DISKUSSION

Odlingsåtgärder och gödsling

I tabell 2 redovisas inrapporterade odlingsåtgärder och gödselgivor baserade på bäddareal. På grund av att fältet delades upp i olika planterings och odlingsomgångar kan de flesta tidpunkter bara anges i form av en tidsperiod under vilken den eller de aktuella åtgärderna utfördes. Startgivan till den planterade vårkulturen av sallat uppgick i medeltal till ca 95 kg N per hektar bäddareal (ca 71 kg N per hektar fältareal), och ungefär lika mycket tillfördes som tilläggsgödsling efter jordprovtagningen vid ca 3 veckor efter plantering. Startgivan till den senare kulturen med sådd rucola/babyleaf varierade mellan 66 och 126 kg N per hektar bäddareal medan tilläggsgödslingen vid normal skördefrekvens uppgick till knappt 80 kg N/ha. I medeltal för de tre åren uppgick den totala kvävetillförseln till ca 350 kg/ha bäddareal och år, eller utslaget på hela fältarealen, till drygt 260 kg/ha och år (Tabell 3).

Nederbörd och avrinning

Den årsvis (juni-maj) summerade nederbörden var jämförelsevis låg under odlings- och utlaknings-säsongerna 2003/04 och 2005/06, medan den var tämligen hög året 2004/05 (Tabell 3). Som jämförelse kan nämnas att normalnederbörden (1961-1990) vid Hov är 753 mm per kalenderår (SMHI, 2001).



Figur 2. Månadsnederbörd och uppmätt månadsvis avrinning, samt avrinningens dygnsvisa fördelning under perioden juni 2003 till maj 2005.

Avrinningen från dräneringssystemet var högst utlakningssäsongen 2004/05, 286 mm och lägst det sista året, 2005/06, 144 mm (Tabell 3). Det finns inget direkt samband mellan årlig nederbörd och avrinning. Nederbördens fördelning över året, eller om den fallit som regn eller snö, har oftast en avgörande betydelse för avrinnings-responsen ett enskilt år. Även bevattning kan ha en påtaglig betydelse för avrinningens storlek och fördelning.

De två första åren pågick tämligen kraftig avrinning hela vintern. Vintern 2004/05 var avrinningen låg och jämn, men med en markerad vårflood i mars-april. I juli 2004 uppmättes den högsta månadsnederbörden, 189 mm, vilket resulterade i kraftig avrinning under ett antal dygn (Figur 2). Avrinningen under juli månad uppgick till ca 63 mm, vilket motsvarade drygt 20 % av årets avrinning.

Tabell 2. Odlingsåtgärder, typ av gröda och uppgiven gödsling på det ordinarie fältet vid Öllöv under åren 2003 till 2005. Gödsling och plantering föregicks alltid av plöjning och bäddläggning, före gödsling 2 i planterad sallat ogräshackades bäddarna. Gödselgivorna är angivna per hektar bäddareal

| Period | | Åtgärd | Gröda | Gödsling, tillfört kg/ha | | | |
|------------|--------------|--------------------------------|---------------|---------------------------|----------|----|-----|
| Start | Slut | | | Slag | N | P | K |
| 2003-03-15 | – 2003-04-01 | Gödsling Plantering | Isbergssallat | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| 2003-04-20 | – 2003-05-01 | Gödsling, N-min | | N27 | 81 | | |
| 2003-05-15 | – 2003-06-01 | Skörd | | | | | |
| 2003-06-01 | – 2003-07-01 | Gödsling Gödsling | | NPK 11-5-18 Kalk-kväve | 66 60 | 30 | 108 |
| 2003-07-01 | – 2003-07-15 | Sådd | Ruccola* | | | | |
| 2003-07-15 | – 2003-07-31 | Gödsling, N-min | | Ksp | 35 | | |
| 2003-08-01 | – 2003-09-30 | Skörd | | | | | |
| 2004-03-10 | – 2004-03-26 | Gödsling Plantering | Sallat, mix | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| 2004-04-16 | – 2004-04-20 | Gödsling, N-min | | N27 | 108 | | |
| 2004-05-15 | – 2004-06-01 | Skörd | | | | | |
| 2004-06-01 | | Plöjning | | | | | |
| 2004-06-07 | – 2004-06-18 | Gödsling Sådd | Babyleaf, mix | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| 2004-06-22 | – 2004-07-05 | Gödsling, N-min | | Ksp | 78 | | |
| 2004-07-15 | – 2004-08-28 | Skörd | | | | | |
| 2004-09-05 | | Tallriksharv Sådd fånggröda | Havre | | | | |
| 2005-03-23 | – 2005-03-24 | Gödsling Plantering | Sallat, mix | NPK 11-5-18 | 110 | 50 | 180 |
| 2005-04-20 | – 2005-04-21 | Gödsling, N-min | | N27 | 108 | | |
| 2005-05-15 | – 2005-05-31 | Skörd | | | | | |
| 2005-06-14 | – 2005-07-06 | Gödsling Sådd | Babyleaf, mix | NPK 11-5-18 | 66 | 30 | 108 |
| 2005-07-01 | – 2005-07-20 | Gödsling, N-min | | Ksp | 78 | | |
| 2005-07-15 | – 2005-08-28 | Skörd | | | | | |
| 2005-09-15 | | Tallriksharv Sådd fånggröda | Havre | | | | |

*) Provodling, skördades endast en gång

Tabell 3. Uppgivna skördar i ord. odling och beräknade ts- och kväveskördar. Kulturvis kvävegödsling, kväveutnyttjande, årsnederbörd, uppgiven bevattning samt uppmätt årsvis avrinning, kväve-utlakning per hektar fältareal och medelkoncentration av total-kväve. Ts- och kväveskördarna är baserade på de kvalitativa provtagningar som gjordes. Fånggrödan provtogs i november, ej bortförd

| Gröda | Uppgiven skörd (obs, fältyta) | | | Kväve- gödsling kg/ha | Kväve- utnytt- jande | Årsviis ** | | | | Medel- konc. mg N/l |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|------------|------------|--------------------|---------------------------|
| | Färskvikt ton/ha | Ts-skörd kg/ha | N-skörd kg/ha | | | Nederb. mm | Bev. mm | Avr. mm | Utlakn. kg N/ha | |
| 2003 | | | | | | | | | | |
| Isberg | 20 | 960 | 28 | 128 | 22% | | | | | |
| Ruccola* | 5 | 250 | 15 | 120 | 13% | | | | | |
| Summa, huvudgröda | 25 | 1210 | 43 | 248 | 17% | 629 | 112 | 253 | 128 | 50 |
| 2004 | | | | | | | | | | |
| Sallat, blandat | 26,5 | 1590 | 73 | 147 | 50% | | | | | |
| Babyleaf | 14 | 840 | 50 | 124 | 40% | | | | | |
| Summa, huvudgröda | 40,5 | 2430 | 123 | 271 | 45% | 791 | 45 | 286 | 115 | 40 |
| <i>Fånggröda, havre</i> | | 1225 | 53 | | | | | | | |
| 2005 | | | | | | | | | | |
| Sallat, blandat | 22 | 1320 | 75 | 164 | 46% | | | | | |
| Babyleaf | 10 | 600 | 35 | 108 | 32% | | | | | |
| Summa, huvudgröda | 32 | 1920 | 110 | 272 | 40% | 609 | 30 | 144 | 42 | 29 |
| <i>Fånggröda, havre</i> | | 508 | 24 | | | | | | | |
| Medeltal | | | | | | | | | | |
| Kultur 1 | 23 | 1290 | 59 | 146 | 40% | | | | | |
| Kultur 2 | 10 | 563 | 33 | 117 | 28% | | | | | |
| Summa / medeltal | 33 | 1853 | 92 | 264 | 34% | 676 | 62 | 228 | 95 | 42 |

*) Provodling som bara skördades en gång.

***) Perioden 1 juni odlingsåret till 31 maj efterföljande år.

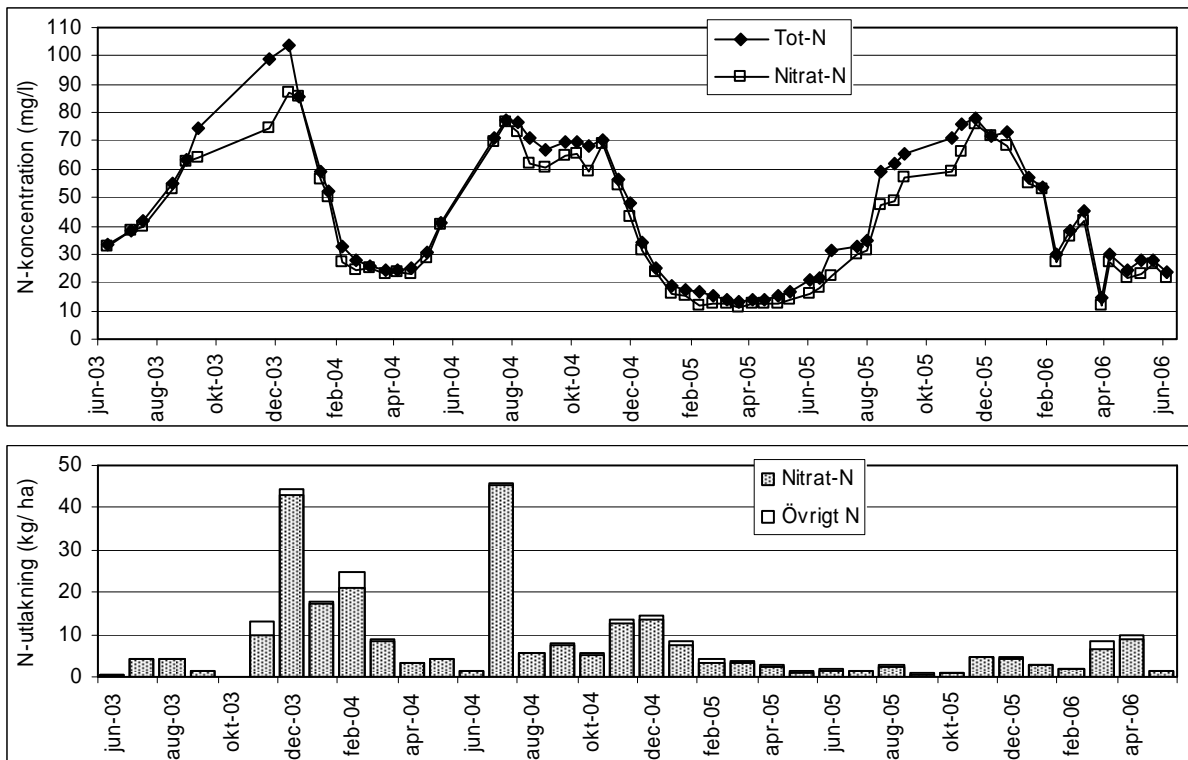
Produktskördar och kväveutlakning

De uppgivna skördarna av avsaluprodukter av planterad sallat uppgick till mellan 20 och drygt 25 ton färskvara per hektar fältareal. Den tillvaratagna skörden av babyleaf angavs till mellan 10 och 14 ton/ha vid normal skördefrekvens (Tabell 3).

De beräknade kväveskördarna är baserade på analysresultaten från de två stickprov för ts- och kemisk analys som togs ut i vardera kulturen. Kvävesköörden, liksom kväveutnyttjandegraden, i första årets isbergssallat är påtagligt lägre än i de senare årens planterade sallat. Åren 2004 och 2005 odlades dock i huvudsak en blandning av andra sallatstyper vilken kan vara en förklaring. Som medeltal för perioden uppgick den beräknade kvävesköörden till ca 58 kg/ha fältareal från den planterade vårkulturen, och till 33 kg/ha i den senare babyleaf-kulturen. Räknat på årsbasis uppgick kvävesköörden i medeltal till drygt 90 kg/ha fältareal per år, vilket ger ett kväveutnyttjande på ca 34% (Tabell 3).

Totalkväveutlakningen liksom dräneringsvattnets medelkoncentration av totalkväve var högst det första året, 128 kg N/ha fältareal resp. 50 mg N/liter. Den bara en gång skördade provodlingen av ruccola kan ha medverkat till detta, men en annan faktor av betydelse är att ingen fånggröda odlades det året. De efterföljande åren såddes havre som fånggröda efter att skörden av babyleaf avslutats. År 2004 såddes fånggrödan redan den 1 september (Tabell 2) och utvecklades kraftigt, vid provtagningen på senhösten uppmättes drygt 50 kg N/ha i fånggrödans ovanjordiska delar. Den senare sådden det sista året (15/9) kan ha bidraget till det lägre upptaget detta år (24 kg/ha).

Det sista årets låga utlakning är till stor del en effekt av den låga avrinningen (Tabell 3). Den låga integrerade medelkoncentrationen är en effekt av att kvävehalten under den korta och intensiva avrinningsperioden i månadsskiftet mars-april 2006 var låg, knappt 15 mg/l,



Figur 4. Uppmätta koncentrationer av nitrat- och totalkväve i dräneringsvattnet, och månadsvis utlakning av kväve. Övrigt kväve utgörs av skillnaden mellan total- och nitratkväve.

(Figur 4a, mitt för ”apr-06”). En möjlig förklaring till det är att marken delvis varit frusen när avrinningen startade vilket gjorde att vattnet inte rann igenom på bred front utan följde mera begränsade flödesbanor, och därigenom inte tvättade ur profilen så effektivt som annars. (Vid Mellby, uppmättes ihållande minusgrader (-2 – -10°) under de tre första veckorna av mars).

Kväveutlakning till följd av den stora avrinningen under juli månad 2004 uppgick till 46 kg N/ha, vilket motsvarade ca 40 % av årets hela utlakning. Medelkoncentration under den månaden uppgick till 74 mg/liter (se figur 4), vilket tyder på att tillgången på utlakningsbart kväve var mycket stor.

En stor uttransport av växtnäring vid denna årstid kan innebära en avsevärd kväveförlust från odlingen, men kan också ge stor påverkan på det mottagande vattensystemet, i detta fall Skälderviken, i form av algblooming etc. Ur odlingens synpunkt var säkerligen förlusten av kväve från rotzonen större än de 46 kg/ha som rann ut via dräneringen genom att kväve lakades ner djupare än grödans rötter nådde.

Denna typ av episoder med hög avrinning under odlingsäsongen är som väl är inte så frekvent förekommande. Men risken att det kan inträffa borde ändå motivera gödslingsstrategier som i så hög grad som möjligt minskar risken för stora lagningsförluster från rotzonen. T.ex. delade givor så att onödigt höga kvävemängder i marken undviks vid tidpunkter då de inte behövs, eller där de inte kan nås av rötterna. Just den här episoden inträffade i huvudsak under perioden mellan tilläggs gödning och skörd av kultur 2 (sådd babyleaf, se tabell 2) så den hade varit svår att helt undvika.

Kvävekoncentrationer i dräneringsvattnet

Koncentrationer av nitrat- och total-kväve vid resp. provtagningstillfälle presenteras i figur 4. Eftersom proven är tagna flödesproportionellt under normalt en 14-dagars period har tidpunkten för respektive prov i diagrammet satts till den tidpunkt då hälften av den vattenvolym som provet representerar hade passerat (volymsmitt). De vägda medelhalterna av

nitrat- resp. totalkväve uppgick till 38 resp. 42 mg N/liter. Vid de flesta tillfällena utgjorde nitratkvävet merparten av totalkvävet, men speciellt under höstperioderna ökade andelen övrigt kväve (skillnaden mellan total- och nitratkväve). Dessa perioder sammanfaller med de perioder då man kan förvänta sig intensiv nedbrytning av skörderester och frigörelse (mineralisering) av kväve från dessa. I första steget av mineraliseringen bildas ammonium vilket efterhand ombildas till nitrat. Ammonium kan på lätta jordar relativt lätt följa med vattenströmmen genom jorden. Det är därför rimligt att anta att en stor del av det övriga kvävet utgjordes av ammoniumkväve (analyserades inte).

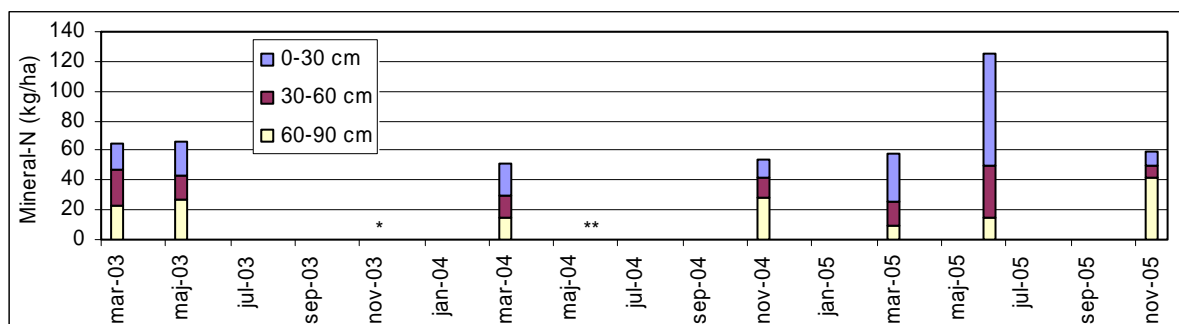
Nitratkvävekoncentrationer ur grundvattenperspektiv

På de flesta lokaler avlänkas inte allt överskottsvatten genom dräneringssystemet utan en större eller mindre andel fortsätter nedåt och bildar grundvatten. Dräneringsvattnets koncentration av nitratkväve kan därför också vara ett mått på det nybildade, ytliga grundvattnets koncentration. Nuvarande gränsvärde för nitrat (NO₃) i dricksvatten, liksom EU:s gränsvärde för ytligt grundvatten (EU: s ramdirektiv), ligger på 50 mg/l, vilket omräknat till nitrat-kväve (NO₃-N) motsvarar en koncentration på 11,3 mg/l (jmf figur 4). Troligen kommer man få beräkna ett medelvärde för t.ex. en 6-årsperiod (växtföljdsmedeltal).

Om detta koncentrationsvillkor måste uppfyllas skulle det som exempel betyda att om man ett år av sex har en medelkoncentration på 40 mg/l av nitratkväve, får medeltalet för de återstående fem åren inte överskrida 5,5 mg/l. Det borde gå att nå med en 5-årig gräsvall, men t.ex. sallatsodlingen skulle minska till en sjättedel. Det förefaller med dagens erfarenhet svårt att med oförändrad odlingsinriktning, men med förbättrade gödslingsstrategier, fånggröda mm, kunna komma ner i en medelkoncentration på 11,3 mg/l, men kunde man komma ner till 20 - 25 mg/l de år man odlar t.ex. sallat skulle en del vara vunnit.

Mineralkväve i markprofilen

Kväveprofiltagningen som var planerad i detta projekt ger ingen fullständig bild av kvävedynamiken över odlingsåsongen. Syftet var i första hand att få en uppfattning om hur kvävet var fördelat i profilen vid några tillfällen under året. Det bör nämnas att den aktuella profilen är svår att provta, dels beroende på riklig stenförekomst, men det krävs också att vattenhalten är ”den rätta” (p.g.a. stort inslag av grov sand och grus, tabell 1) så att väggen i borrhålet är stabil. Provtagningen som skulle skett i november 2003 kunde inte genomföras p.g.a. tjäle, och provtagningen efter första kulturen 2004 har uteslutits på grund av tvivelaktiga värden i alvskikten (nerfallen matjord till följd av instabilt borrhål). Vidare är, som tidigare nämnts, proven tagna längs en diagonal över de olika odlingsomgångarna varför det oftast inte går att koppla resultaten tidsmässigt till någon viss odlingsåtgärd. Resultaten redovisas i figur 5.



* Novemberprovtagningen saknas.

** Borttaget prov, alvskikten kontaminerade med matjord (profilsumma = 453 kg N/ha).

Figur 5. Skiktvis mineralkväveinnehåll (ammonium- + nitrat-N) i markprofilen.

Resultat av demonstrationsodlingen 2005

Odlingen skedde på en ca 30 m lång bädd som iordningställdes med gårdens bäddläggare. Badden indelades i tre parceller om ca 10 m vardera. Behandlingarna presenteras nedan, startgivor och börvärden framgår också av tabell 4 och 5. Planteringen utfördes med gårdens planteringsmaskin, medan alla gödselgivor lades ut för hand av försökspatrullen. Alla uppgivna gödselgivor avser bäddareal. Skiktvis kväveprofiler togs före plantering på våren (generalprov över hela bäddytan), ledvisa prov efter skörd 1 resp. skörd 2 och sen höst. Vid 3 veckor efter plantering togs matjordsprov för analys av nitratkväve med Nitracheck-mätaren för att bestämma tilläggsgödslingen upp till det avsedda börvärdet. Jordresterna från dessa provtagningar frystes inom 1-2 timmar för senare analys med samma metod som för andra jordprover (NO₃-N + NH₄-N). Utvecklingen (skörden) av bedömt säljbara huvuden mättes genom att 3 prov á 10 huvuden från varje led vägdes och provtogs för ts- och kväveanalys. Även skörderesterna vägdes och provtogs för analys av ts, N och C.

I led **A** var målet att följa gårdens gödslingsmodell som den bedrivits under de tidigare åren med tämligen höga startgivor jämnt fördelade över bäddytan och gårdens uppgivna börvärden vid 3 veckor efter plantering.

Led **B** är ur de flesta synpunkter likt led **A** men med en lägre startgiva (jämnt fördelad) och något reducerade börvärden vid 3 veckor. Vi räknade med få lägga en större andel gödselgivan vid 3 veckor, jämfört med led **A**, och att mindre kväve skulle tvättas ner under rot djup.

Led **C** är delvis baserat på de tidigare studierna vid Mellby (Torstensson, 2002) där vi observerade att en liten, placerad startgiva gav mycket god effekt på grödan. Mängden startgödsel till varje planta spreds inom en radie på 7-8 cm runt varje planta. Börvärdena vid 3 veckor efter plantering sattes lågt, men var baserade på tidigare uppmätta kväveupptag i isbergssallat. N-min –proverna togs här utanför det gödslade området omkring plantan. Vår hypotes var att plantorna skulle utvecklas väl i starten men, p.g.a. låga börvärden, kanske inte nå samma slutvikter som i de andra leden.

Skördemetoden liksom bristen på upprepningar tillåter inte några långtgående slutsatser, men några observationer är värda att kommentera.

Skörd. Resultaten från skördemätningen ger ingen indikation om att de skördade huvudena var sämre utvecklade i led **B** och **C** jämfört med led **A**. Standardavvikelsen (SD) avser spridningen mellan de tre proven i resp. led. Någon sakkunnig bedömning av huvudkvalitet är dock inte gjord. Högsta medelvikten i båda kulturerna återfanns i led **C** (Tabell 4).

Tabell 4. Medelprovvikter (10 plantor) av 3 prov per led och beräknat ts- och N-innehåll per hektar fältareal i demonstrationsförsöket med isbergssallat 2005. (10 plantor motsvarar en fältareal av 1,12 m²)

| Led | Skördeprodukt (huvuden) | | | | Skörderester (ovanjordiska) | | | | | Totalt N-innehåll kg/ha |
|--------------------------------|-------------------------|------|----------------|---------------|-----------------------------|------|----------------|------------------|----------|-------------------------|
| | Färskvikt, kg/10st | | Ts-vikt ton/ha | N-skörd kg/ha | Färskvikt, kg/10st | | Ts-vikt ton/ha | N-innehåll kg/ha | C/N-kvot | |
| <i>Startgiva/ börvärde</i> | Medel | SD | | | Medel | SD | | | | |
| <i>Kultur 1</i> | | | | | | | | | | |
| A 90/160 | 4,79 | 0,69 | 1,97 | 62 | 1,90 | 0,09 | 1,22 | 45 | 9 | 107 |
| B 40/130 | 5,08 | 0,31 | 1,77 | 60 | 1,53 | 0,23 | 0,93 | 29 | 11 | 89 |
| C 30*/90 | 5,51 | 0,28 | 2,12 | 72 | 1,57 | 0,39 | 1,07 | 28 | 11 | 99 |
| <i>Kultur 2</i> | | | | | | | | | | |
| A 60/140 | 3,58 | 0,31 | 1,12 | 46 | 1,11 | 0,31 | 0,99 | 19 | 9 | 65 |
| B 40/115 | 4,82 | 0,76 | 2,06 | 58 | 1,21 | 0,04 | 1,19 | 16 | 11 | 74 |
| C 30*/80 | 4,89 | 0,11 | 2,01 | 57 | 1,09 | 0,06 | 1,32 | 17 | 12 | 73 |

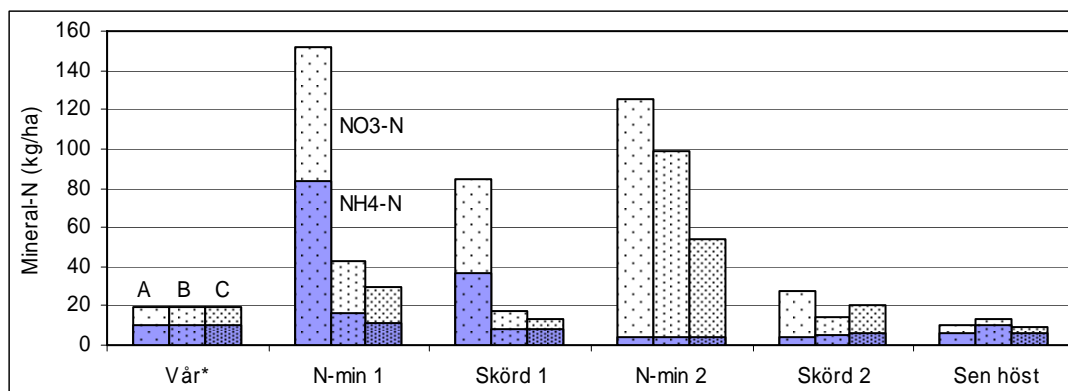
* Punktgödsling inom 7-8 cm radie omkring varje planta.

Tabell 5. Resultat av jordanalysen med Nitracheck före tilläggs gödsling, tillfört gödselkväve per hektar bäddareal, samt jämförelse med analysresultaten från den vanliga analysmetoden (kg/ha)

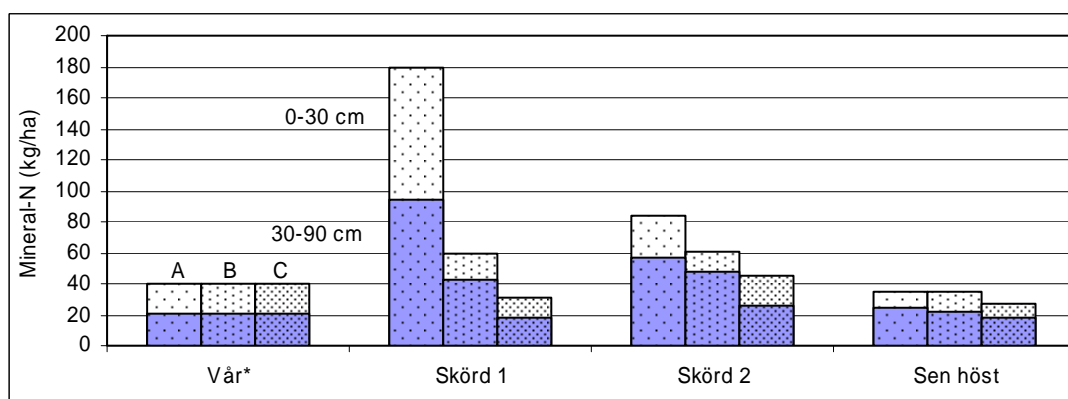
| Led | Startgiva | Börvärde | Nitracheck | | N-min gödsling | Vanlig lab-analys | | Summa |
|-----------------|-----------|----------|--------------------------|--|----------------|--------------------|--------------------|-------|
| | | | NO ₃ -N-värde | | | NO ₃ -N | NH ₄ -N | |
| <i>Kultur 1</i> | | | | | | | | |
| A | 90 | 160 | 49 | | 111 | 68 | 83 | 151 |
| B | 40 | 130 | 36 | | 94 | 27 | 16 | 43 |
| C | 30 | 90 | 10 | | 80 | 19 | 11 | 30 |
| <i>Kultur 2</i> | | | | | | | | |
| A | 60 | 140 | 211 | | 0 | 121 | 4 | 125 |
| B | 40 | 115 | 113 | | 0 | 95 | 4 | 99 |
| C | 30 | 80 | 68 | | 0 | 50 | 4 | 54 |

Gödsling och N-min –analyser. NPK 11-5-18 användes vid alla gödslingar. Tillförda kvävegivor och uppmätta nitratkvävmängder i matjorden redovisas i tabell 5. Tilläggs gödsling vid 3 veckor gjordes endast i kultur 1. De kvävmängder som formellt skulle tillförts led B och C i kultur 2 var så små (2 resp. 12 kg/ha) att de uteslöts.

Mineralkväve i rotzonen. Resultaten från den ordinarie lab-analysen visas i figur 6. Andelen ammoniumkväve, sannolikt från startgödseln, i led A utgör vid N-min 1 ungefär hälften av kväveinnehållet i matjorden. Nitracheckmetoden mäter enbart nitratkvävet varför man missar eventuella större mängder ammoniumkväve, vilket kan leda till onödigt kraftig tillägg



Figur 6. Nitrat- och ammoniumkväve i **matjordsskiktet** (0-30 cm) baserat på de ordinarie jordanalyserna. N-min -proverna togs ca 3 v. efter plantering. *Vårprovet togs som ett generalprov över alla tre parcellerna.



Figur 7. Mineralkväve i **markprofilen** i demoförsöket med fördelning mellan matjord (0-30 cm) och alv (30-90 cm). *Vårprovet togs som ett generalprov över alla tre parcellerna.

gödsling. Om den extra mängden ammoniumkväve i led A varit känd hade tilläggsivan kunnat sänkas med ca 70 kg N/ha (jmf tabell 5), vilket troligen hade reducerat restkväve-mängden vid skörd 1.

Mineralkväve i markprofilen. Fördelning mellan matjord och alv redovisas i figur 7. Det man främst ser är att det kan finnas ett samband mellan höga och bredspridna startgivor, och större mängder restkväve under grödans rotdjup vid skörd.

Framtida studier, några tankar om förbättringsmöjligheter

Gödsling och gödslingsteknik

Det borde gå att förbättra kväveeffektiviteten. Regelrätta gödslingsförsök inriktade både på kvävebehovets storlek och att utveckla bättre gödslings-strategier under svenska förhållanden känns nödvändiga att få till stånd. Målet måste vara att få fram rekommendationer som ger en ur ekonomisk synpunkt tillräckligt god skörd med rätt kvalitet i olika typer av kulturer, men som också tar rimlig hänsyn till odlingens miljöpåverkan.

Metoden med en, i förhållande till den unga plantan, strategiskt placerad startgiva med ett NPK-gödselmedel (variant av s.k. "starter fertilizer") känns värd att testa och utveckla vidare med framtagning av relevanta börvärden etc, anpassade efter tekniken med placerad startgiva. Genom att placera gödsel nära plantan säkerställs den nysatta plantans tillgång till både fosfor och kväve. Dessutom undviker man att gödsla markytor som ännu inte innehåller några växtrötter som kan ta upp näring och vatten. Därigenom minimerar man risken att gödselkväve som befinner sig vid sidan om den aktuella rotzonen lakas ner till skikt under grödans kommande rotdjup (se figur 6). Nerlakningen vid sidan om rotzonen förstärks av att det där inte heller sker något vattenupptag som minskar den neråtgående vattenströmmen vid nederbörd och bevattning.

En vanlig radgödsling längs den kommande plantraden kan sannolikt åstadkommas med redan befintliga maskiner. Vid radavståndet 30 cm minskar man den gödslade markytan, till ca en tredjedel. Man når på det sättet minst samma "gödselkoncentration" i radens närhet som vid bredgödsling med en tredjedel av gödselgivan. I kulturer som sås med normalt radavstånd (ca 12 cm) kan samma teknik som för radmyllning i stråsäd användas, med en gödselsträng mellan varannan sårad. Den gödslade ytan minskar då till ungefär hälften.

En mera "punktformig" gödsling (som led C ovan), i planterade kulturer kräver att gödslingen sker synkroniserat med planteringen, vilket kanske kräver viss maskinutveckling. Gödseln kan t.ex. läggas som en 15 cm lång gödselsträng längs raden, med plantan placerad vid strängens mittpunkt. Med 30 cm plantavstånd skulle den gödslade andelen av markytan halveras jämfört med radgödslingen ovan (till ca 1/6-del av hela ytan). För att nå motsvarande gödselkoncentration per ytenhet som vid bredspridning, t.ex. 100 kg N/ha, skulle det behövas ca 1,5 g av NPK 11-5-18 per planta. Idéer till teknisk lösning på detta borde gå att hitta i t.ex. de cellhjulsumatningar som nu används för sådd av t.ex. majs och sockerbetor.

Behovsanpassad gödsling

Vid de kvävemängder som behövs i t.ex. sallatsodling är delad giva nödvändig. Någon form av "börvärdesmetod" för att ta reda på hur mycket kväve som behöver tillföras vid tilläggs-gödslingen måste ses som en självklarhet för att kunna uppnå målet om rimlig miljöhänsyn.

Att mäta kvävetillgången i marken med jordprovtagning måste anses säga lite mer om läget inför framtiden än t.ex. bladanalys. Den senare speglar mera hur tillgången/upptaget av t.ex. kväve varit under de senaste dagarna. För att det ska fungera i praktiken torde en tillförlitlig metod för att utföra jordanalysen "på gården" vara nödvändigt i de flesta fall. Oftast har man inte tidsmarginal nog för att kanske behöva anpassa jordprovtagningstillfället efter veckodag (postgång etc.) och sedan vänta 1-2 dygn på analysresultatet.

Kväveanalys på jordprov. En jordanalys går korthet till så att man, efter att man noga blandat provet, mäter eller väger upp en känd mängd jord som skakas med en känd mängd destillerat vatten, eller saltlösning om även ammonium ska analyseras. Efter filtrering, eller liknande, analyserar man kvävekoncentrationen i vattenlösningen (extraktet). Man måste också bestämma vattenhalten i det ursprungliga provet. Mängden kväve som fanns i extraktionsprovet beräknas genom att multiplicera analysvärdet (mg/liter) från extraktet med mängden extraktionslösning (liter). Beroende på analysmetod kan man också få lov att räkna om nitrathalt till nitratkvävehalt. Då mängden kväve som fanns i extraktionsprovet är känd kan man beräkna kväveinnehållet per viktsenhet torr jord, (t.ex. kg N/ton torr jord), och vidare till kg N/ha med hjälp av markskiktets tjocklek och torra bulkdensitet.

Resultat från olika analysmetoder. Skillnaderna i nitratkvävemängd i matjorden ser vid några tillfällen ut att vara väl stora (se tabell 5) när man jämför resultaten från den vanliga laboriemetoden vid SLU och den "gårdsmetod" som användes här, där en s.k. Nitrateck användes för att mäta nitratkoncentrationen i extraktet. Vad orsaken till detta kan vara borde utredas lite närmare. Det behöver dock inte indikera att gårdsmetoden är mindre användbar för det avsedda ändamålet. Antalet jämförelseprov är mycket litet, och det finns ingen analysmetod som kan ge det *verkligt sanna värdet*. (Ett analysvar säger bara att det "sanna" värdet med viss sannolikhet ligger inom ett för metoden givet intervall omkring det angivna värdet).

När det gäller jordanalyser finns det dock några faktorer som, oavsett metod, kan spela en betydande roll för slutresultatet. T.ex. kan det ha mycket stor betydelse hur väl jordprovet har blandats före uttagningen av extraktionsprovet, hur man tagit hänsyn till provets aktuella vattenhalt och jordskiktens bulkdensitet/volym vid omräkningen från "mg/l" i extraktet till "kg/ha", och hur denna omräkning i övrigt har utförts. Rätt genomförda nitratkväveanalyser borde inte behöva skilja mer än kanske $\pm 10-15$ kg/ha.

Ammoniumkväve. Problemet med att det vid vissa tillfällen kan finnas extra stora mängder ammoniumkväve, som nitratanalysen med t.ex. Nitrateck missar, får inte negligeras. Det finns dock möjlighet att komma runt problemet utan att behöva ytterligare en "analysapparat". Men för att göra det kan det krävas en ändrad gödslingsmodell, och eventuellt tillgång till gödselmedel med annan sammansättning.

- Om metoden att placera en låg startgivan enbart invid plantan/plantraden används, kan NPK-gödselmedel med innehåll av ammonium-N fortfarande användas om N-min jordproven sedan tas mellan de gödslade områdena. Även tilläggsgivan kan behöva utgöras av NPK-gödsel för att tillgången på bl.a. P och K ska bli tillräcklig.
- Grundgödslingen med P och K (och nödvändiga mikronäringsämnen) utförs med ett separat PK-gödselmedel, och man använder ett rent nitratgödselmedel till startgivan.

Förslagen går ut på att minimera risken att jordprovet "kontamineras" i onödan med extra ammoniumkväve. De bygger på antagandet att det extra ammoniumkvävet, vid de aktuella provtagningstillfällena, sannolikt härstammar från nyligen (<1 månad) spriden gödsel.

RESULTATSPRIDNING

De viktigaste kanalerna att direkt nå ut till odlare och rådgivare har varit fältvisningar och en rad kurser på olika nivåer, inte minst i samband med introduktionen av Greppa Näringen's "Potatis och Grönsaksmodul". Resultat härifrån har också ingått i en presentation vid ett av NJF's seminarier. I juni 2005 skrevs en artikel om studien och då erhållna resultat i Nordvästra Skånes Tidningar, och hela periodens resultat redovisades på Nätverksträffen med "Tillväxtprogram för potatis, frukt, bär och grönsaker" i september 2006. En mer utförlig rapport kommer att publiceras i Ekohydrologi nr 96, avd. för vattenvårdslära, SLU.

Nitrogen leaching in field-grown lettuce

Gunnar Torstensson, Dept. of Water Quality Management, SLU; Håkan Sandin, SJV.

BACKGROUND AND AIMS

Previous studies in southern Sweden have shown that during a season of intensive production of field-grown vegetables there is a progressive accumulation in the soil profile of large amounts of residual nitrogen (N), which subsequently leach into the surrounding environment (Torstensson, 2002). Field growing of lettuce is often carried out on very light, well-drained soils that warm up quickly in the spring.

In spring 2003 an approx. 0.8 ha observation field was established on the southern aspect of the Bjärehalvön peninsula. The drainage system for the area discharges into a nature reserve directly connected to the sea (Skälderviken). The aim of the three first years of observation were to document the situation regarding nutrient leaching via drainage water in an intensive lettuce growing system.

In order to obtain an accurate picture of reality, the objective was to avoid influencing the grower's management of the field. However, it is difficult to determine the degree to which this objective was fulfilled, partly because the grower was very interested in the results and partly because the funding agency required that an annual demonstration culture sequence using a modified version of the management system in the main field be included in the project. This meant that detailed information on the coming culture had to be obtained in advance from the grower. Vegetable growing in the area is very strongly market-led, which meant that the demonstration plans drawn up in advance for the different growing seasons were always more or less overturned at very short notice.

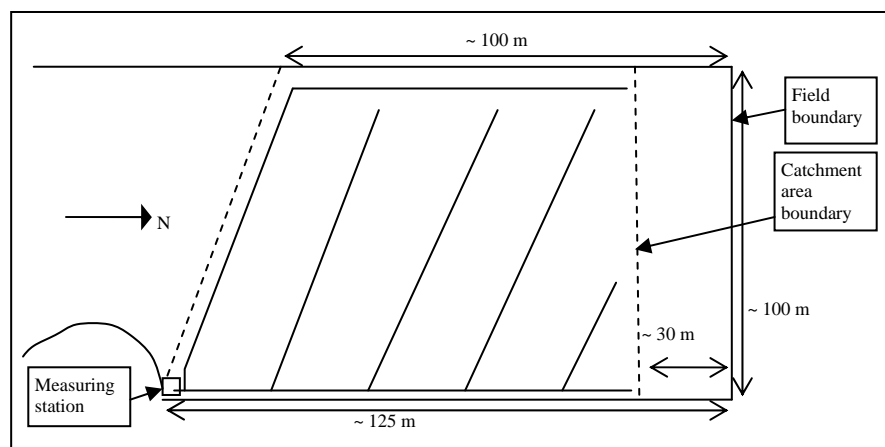
MATERIALS AND METHODS

The observation field belongs to Öllövsgårdens AB and is situated on the south-facing slope of the Bjärehalvön peninsula. The soil texture is glacial sand in both topsoil and subsoil (Table 1). The main crops grown on the farm are various types of lettuce and new potatoes. During the time of this project, lettuce was grown in beds approx. 1.6 m wide and with 2 m c-c spacing. The plant spacing for lettuce plants was approx. 30 cm both within and between rows. Babyleaf lettuce was sown at approx. 12 cm row spacing. Planting/sowing and harvest occurred 2-6 times per season. The first culture was planted in March and covered with horticultural fleece. Culture 2 was sown at the end of June or in the first half of July. The starter dose of nitrogen (80-120 kg N/ha) plus basic phosphorus (P) and potassium (K) fertiliser was uniformly incorporated across the entire bed surface before planting/sowing. Approx. 3 weeks later, topsoil (0-25 cm) samples were extracted and analysed for nitrate-N using a Nitrachek 404 meter (KPG Products Ltd, UK). Depending on the value obtained, supplementary fertiliser was applied to achieve a certain level (target value of soil N + fertiliser, e.g. 160 kg N/ha bed surface for iceberg lettuce). Only a few of these analytical results were reported, so it is not possible to further evaluate this aspect.

The measuring station was connected to the outflow pipe of a well-delineated and documented drainage system comprising approx. 0.8 ha (Figure 1). The measuring station consisted of a concrete well (150 cm Ø) covered by an insulated house (approx. 2.4 x 2.4 m). Measurements began at the beginning of June 2003. Data on local precipitation were obtained either from a meteorological station situated a few hundred metres from the site or, when these were not available, from Mellby in southern Halland (Dept. of Water Quality Management, SLU).

Table 1. Texture of the soil at the field site (% w/w)

| Soil layer | Clay d<0.002 mm | Fine silt 0.002- 0.006 | Coarse silt 0.006- 0.02 | V. fine sand 0.02- 0.06 | Fine sand 0.06- 0.20 | Med. sand 0.2- 0.6 | Coarse sand 0.6- 2.0 | Gravel 2.0- 20 | OM content, (Loss on ignition, %) |
|------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|---|
| 0-30 cm | 3.6 | 1.1 | 1.8 | 4.2 | 5.9 | 26.2 | 24.5 | 30.3 | 2.4 |
| 30-60 cm | 2.2 | 0.6 | 1.9 | 3.3 | 5.5 | 30.2 | 30.3 | 24.5 | 1.5 |
| 60-90 cm | 1.3 | 0.5 | 1 | 1.8 | 3.8 | 31.6 | 39.3 | 19.8 | 0.8 |

**Figure 1.** Diagram of the observation field showing the drainage system and the estimated boundaries of the catchment area.

Nitrogen leaching. Water flow from the drainage system was measured using a triangular weir (90°). The water depth over the V-apex was measured continuously using a displacement body and load cell coupled to a datalogger. Water was sampled automatically by extracting flow-proportional bulk samples (one sub-sample per 0.1 mm runoff) with a peristaltic pump connected to the datalogger. In the interim, samples were stored in the cool and dark of the well. At sampling (every 14 days) the water was mixed and sub-samples were taken in small bottles for analysis at the Swedac-accredited laboratory at the Dept. of Water Quality Management, SLU. The water samples were analysed for nitrate-N and total-N.

Annual leaching was calculated for the period 1 June of one growing year to 31 May in the following year. The concentration of N in each bulk sample was multiplied by all the daily runoff between the preceding sampling occasion and the present. Daily transport values were added to produce monthly and annual transport values. Mean concentrations for periods were calculated by dividing the total amount leached by the total runoff during the period.

Mineral nitrogen (N-min) in the soil profile was normally determined on three occasions per year: before spring fertilisation, after harvest of crop culture 1 and in late autumn (November). A soil auger (diameter 25 mm) was inserted at points distributed randomly along a diagonal line extending across the observation area. Approx. 24 auger cores were taken from the 0-30 cm soil layer and 18 cores from each of the 30-60 and 60-90 cm layers (Lindén, 1977; 1979). These cores samples were pooled to give a bulk sample for each layer. Soil samples were stored at -18 °C before analysis. They were thawed and extracted with 2M KCl for determination of ammonium-N and nitrate-N. The analytical values were recalculated to kg N/ha using data on the bulk density of the soil layer and the actual water content.

Estimation of yield and nitrogen uptake in crops. Spot samples for chemical analysis of the commercial crop produce and the harvest residues left in the field were taken by the field patrol (HS, Halland) within two randomly selected areas. The commercial produce was analysed for total-N and the harvest residues for N and carbon (C). The yield data given for the conventional growing are the amounts of commercial produce removed per hectare as calculated by the grower.

Reporting of cropping practices, fertilisation, etc. Soil cultivation and other cropping practices were carried out by the grower in the normal way. It was agreed that the presence of the observation field would not affect land use and cropping methods. At the end of the growing season the grower reported the cropping practices carried out, e.g. doses of different fertilisers applied (kg per ha bed area), date or time period of planting/sowing, soil cultivations, fertilisations and harvest, and actual yields (per ha field area) of commercial produce from each culture.

The method used to define the areal basis must be borne in mind when discussing bed-grown crops. The fertiliser spreader only covered the bed area and the doses were based on the area treated (= bed area), while the yield data and leaching were based on the actual field area, incl. tramlines between beds, etc. Therefore in comparisons of N fertilisation, N harvested with produce (N-harvest) and N leaching, the fertiliser doses given were expressed per ha field area by multiplying by a factor of 0.75 (bed area was estimated to comprise 75% of field area).

Demonstration culture. Since the demonstration culture system was not permitted to influence the ordinary crop system on the farm, it had to be sited on an infrequently cropped wedge of land near the measuring station. The aforementioned difficulties in advance planning caused problems. In the first two of the three years, it was announced in January-February that the first culture would be new potatoes, but then lettuce was planted in March. Attempts to establish a well-planned demonstration culture system proved impossible in these circumstances, with culture failure in the first two years. The costs of these demonstration cultures were covered by cutting back on other planned samplings and analyses.

However, in the final year (2005), a demonstration culture system that was entirely independent of the ordinary growing system was established. The demonstration cultures were grown on an approx. 30 m long bed created with the conventional farm machinery. The bed was divided into three 10-metre plots (A, B, C). Iceberg lettuce was planted using the farm planter, while all fertiliser doses (starter dose/target value) were applied manually by the field patrol. All doses are given per unit bed area. Soil layers were sampled for nitrogen before planting in the spring (general samples across entire bed area), while the individual plots were sampled after harvests 1 and 2 and in late autumn. Three weeks after planting, topsoil samples were taken for analysis of nitrate-N by the Nitrachek meter in order to calculate the supplementary fertiliser dose needed to reach the target value. The residual soil from these samplings was frozen within 1-2 hours for subsequent analysis by the method used for other soil samples (nitrate-N + ammonium-N). Growth (yield) of estimated marketable produce was measured by weighing three samples of 10 heads from each plot and determining their DM and N content. Harvest residues were also weighed and analysed for DM, N and C.

Plot A followed the fertilisation pattern used on the farm in the previous two years, with a relatively high starter dose evenly distributed over the bed surface and a supplementary dose to reach the specified target value 3 weeks after planting.

Plot B was similar to plot A in most respects but with a lower starter dose (evenly distributed) and a somewhat lower target value at 3 weeks. The aim was to apply a greater proportion of the fertiliser at 3 weeks so that less N was washed down below root depth.

Plot C was partly based on previous studies at Mellby in which a small precisely placed starter dose had a very good effect on the crop (Torstensson, 2002). The starter dose was spread within a radius of 7-8 cm around each plant. The target value at 3 weeks after planting was set low but was based on previous measurements of N uptake in iceberg lettuce. The N-min samples here were taken outside the fertilised area around each plant. The hypothesis was that the plants would develop well initially but would perhaps not reach the same final weight as the other plots due to the low target value.

A field patrol was hired for planting, fertilisation, sampling and harvest of the demonstration plots, partly using alternative funding.

RESULTS AND DISCUSSION

Cropping measures and fertilisation

Table 2 shows the reported cropping measures and fertiliser doses based on bed area. Because the field was divided into different planting and growing batches, most times can only be reported in the form of a period during which the relevant activity occurred. The starter dose for the spring culture of planted lettuce was on average approx. 95 kg N per ha bed area (approx. 71 kg N per ha field area), and a similar dose was applied as a supplementary fertilisation after soil sampling at approx. 3 weeks after planting. The starter dose for the later culture of sown rucola/babyleaf lettuce varied between 66 and 126 kg N per ha bed area, while the supplementary fertilisation at normal harvest frequency was just under 80 kg N/ha bed area. On average for the three years, the total amount of N supplied was approx. 350 kg/ha bed area and year, or around 260 kg/ha field area and year (Table 3).

Precipitation and runoff

The annual cumulative precipitation was lower than average in the growing/leaching season of 2003/04 and 2005/06, while it was slightly higher than average in 2004/05 (Table 3). For comparison, the 30-year mean precipitation (1961-1990) at Hov is 753 mm per calendar year (SMHI, 2001).

Runoff from the drainage system was highest (286 mm) in the leaching season 2004/05 and lowest (144 mm) in the last year, 2005/06 (Table 3). There is no direct correlation between annual precipitation and runoff. The precipitation distribution across the year or whether it falls as rain or snow is often decisive for the runoff response in the individual year. Irrigation can also have a considerable effect in determining the amount and distribution of runoff.

In the first two years of this study, there was relatively high runoff throughout the entire winter. In the winter 2004/05 runoff was low and uniform, but with a pronounced spring peak in March-April. The highest monthly precipitation (189 mm) was recorded in July 2004 and resulted in high runoff for a number of days (Figure 2). Runoff during the month of July amounted to approx. 63 mm, which corresponded to over 20% of the total annual runoff.

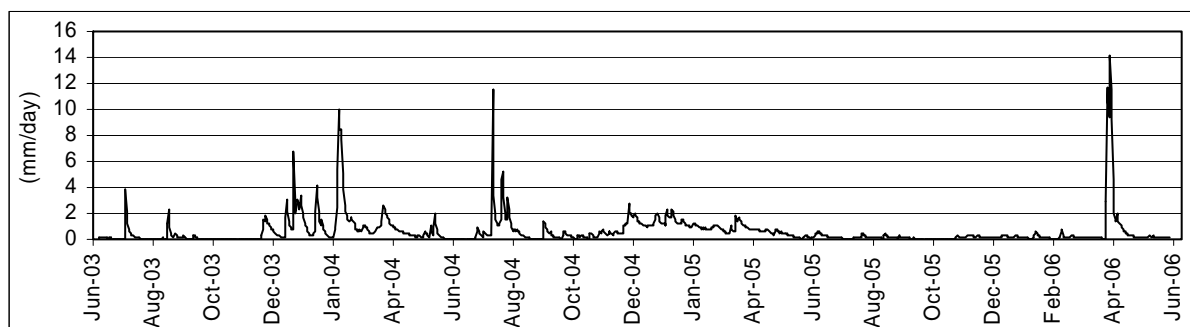


Figure 2. Daily runoff recorded during the period June 2003 to May 2005.

Crop yields and nitrogen leaching

The reported yields of commercial produce of planted lettuce were between 20 and 25 tonnes fresh weight per ha field area. The commercial yield of babyleaf lettuce was between 10 and 14 ton/ha at normal harvesting frequency (Table 3).

Table 2. Cropping practices, type of crop and fertilisation rates reported by the grower for the ordinary field at Öllöv during the period 2003-2005. Fertilisation and planting were always preceded by ploughing and bed establishment, while beds were hoed to removed weeds before fertilisation 2 in planted lettuce. Fertiliser doses are given per ha bed area

| Period | | Measure | Crop | Fertilisation, kg applied/ha | | | |
|------------|--------------|----------------------|-----------------|------------------------------|-----|----|-----|
| Start | End | | | Type | N | P | K |
| 2003-03-15 | – 2003-04-01 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| | | Planting | Iceberg lettuce | | | | |
| 2003-04-20 | – 2003-05-01 | Fertilisation, N-min | | N27 | 81 | | |
| 2003-05-15 | – 2003-06-01 | Harvest | | | | | |
| 2003-06-01 | – 2003-07-01 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 66 | 30 | 108 |
| | | Fertilisation | | Lime-N | 60 | | |
| 2003-07-01 | – 2003-07-15 | Sowing | Ruccola* | | | | |
| 2003-07-15 | – 2003-07-31 | Fertilisation, N-min | | Ksp | 35 | | |
| 2003-08-01 | – 2003-09-30 | Harvest | | | | | |
| 2004-03-10 | – 2004-03-26 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| | | Planting | Lettuce, mix | | | | |
| 2004-04-16 | – 2004-04-20 | Fertilisation, N-min | | N27 | 108 | | |
| 2004-05-15 | – 2004-06-01 | Harvest | | | | | |
| 2004-06-01 | | Ploughing | | | | | |
| 2004-06-07 | – 2004-06-18 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 88 | 40 | 144 |
| | | Sowing | Babyleaf, mix | | | | |
| 2004-06-22 | – 2004-07-05 | Fertilisation, N-min | | Ksp | 78 | | |
| 2004-07-15 | – 2004-08-28 | Harvest | | | | | |
| 2004-09-05 | | Disc harrow | | | | | |
| | | Catch crop sown | Oats | | | | |
| 2005-03-23 | – 2005-03-24 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 110 | 50 | 180 |
| | | Planting | Lettuce, mix | | | | |
| 2005-04-20 | – 2005-04-21 | Fertilisation, N-min | | N27 | 108 | | |
| 2005-05-15 | – 2005-05-31 | Harvest | | | | | |
| 2005-06-14 | – 2005-07-06 | Fertilisation | | NPK 11-5-18 | 66 | 30 | 108 |
| | | Sowing | Babyleaf, mix | | | | |
| 2005-07-01 | – 2005-07-20 | Fertilisation, N-min | | Ksp | 78 | | |
| 2005-07-15 | – 2005-08-28 | Harvest | | | | | |
| 2005-09-15 | | Disc harrow | | | | | |
| | | Catch crop sown | Oats | | | | |

*) Test culture, harvested only once.

The calculated N-harvest values are based on the analytical results from the two spot samples taken for dry matter content (DM) and chemical analysis in each culture. The N-harvest and the N use efficiency in the first year iceberg lettuce were considerably lower than in the planted lettuce of the following years. However, in 2004 and 2005 a mixture of other lettuce types was normally grown, which may be the explanation. On average for the period, the calculated N-harvest was approx. 58 kg/ha field area for the planted spring culture and 33 kg/ha for the following babyleaf culture. Calculated on a mean annual basis, the N-harvest was around 90 kg/ha field area and year, giving an N use efficiency of approx. 34% (Table 3).

Total N leaching was highest in the first year (128 kg N/ha field area), as was mean concentration of total N in drainage water (50 mg N/litre). The fact that the test culture of ruccola was harvested only once may have contributed to this, but another significant factor is that no catch crop was grown in that year. In the following years, oats were sown as a catch crop after harvest of babyleaf lettuce was finished. In 2004 the catch crop was sown early (1 September) and grew vigorously so that at sampling in later autumn, over 50 kg N/ha were present in the aboveground parts of the catch crop. The later sowing in the following year (9 September) can have contributed to the lower N uptake in that year (24 kg/ha).

Table 3. Reported yields in ordinary growing and calculated DM and N-harvest values. Culture-based N-fertilisation, N use efficiency, annual precipitation, reported irrigation and measured annual runoff, N-leaching per ha field area and mean concentration of total-N. DM and N-harvest values are based on the qualitative samplings performed. Catch crop sampled in November, not removed

| Crop | Reported yield (obs, field area) | | | N fertilisation kg/ha | N use effic. | Annual- precip. ** | | Run- off mm | Leach. kg N/ha | Mean conc. mg N/L |
|------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| | Fresh weight ton/ha | DM yield kg/ha | N- harvest kg/ha | | | Rain mm | Irrig mm | | | |
| 2003 | | | | | | | | | | |
| Iceberg | 20 | 960 | 28 | 128 | 22% | | | | | |
| Ruccola* | 5 | 250 | 15 | 120 | 13% | | | | | |
| Total, main crop | 25 | 1210 | 43 | 248 | 17% | 629 | 112 | 253 | 128 | 50 |
| 2004 | | | | | | | | | | |
| Lettuce, mixed | 26.5 | 1590 | 73 | 147 | 50% | | | | | |
| Babyleaf lettuce | 14 | 840 | 50 | 124 | 40% | | | | | |
| Total, main crop | 40.5 | 2430 | 123 | 271 | 45% | 791 | 45 | 286 | 115 | 40 |
| Catch crop, oats | | 1225 | 53 | | | | | | | |
| 2005 | | | | | | | | | | |
| Lettuce, mixed | 22 | 1320 | 75 | 164 | 46% | | | | | |
| Babyleaf lettuce | 10 | 600 | 35 | 108 | 32% | | | | | |
| Total, main crop | 32 | 1920 | 110 | 272 | 40% | 609 | 30 | 144 | 42 | 29 |
| Catch crop, oats | | 508 | 24 | | | | | | | |
| Mean | | | | | | | | | | |
| Culture 1 | 23 | 1290 | 59 | 146 | 40% | | | | | |
| Culture 2 | 10 | 563 | 33 | 117 | 28% | | | | | |
| Total /mean | 33 | 1853 | 92 | 264 | 34% | 676 | 62 | 228 | 95 | 42 |

*) Test culture, harvested only once.

**) Period 1 June in growing year to 31 May in following year.

The low leaching in the final year was largely an effect of the low runoff (Table 3). The low integrated mean concentration was an effect of low N content (<15 mg/L) during the short and intensive runoff period at the end of March-beginning of April 2006 (Figure 4a, mid-“apr-06”). A possible explanation is that the soil was partly frozen when runoff began, which meant that water did not infiltrate across a broad front but instead followed more restricted flow pathways and thus did not leach through the profile as efficiently as usual (at the SLU field trials in Mellby, 15 km away, the temperature was consistently below freezing (-2 – -10 °C) during the first three weeks of March).

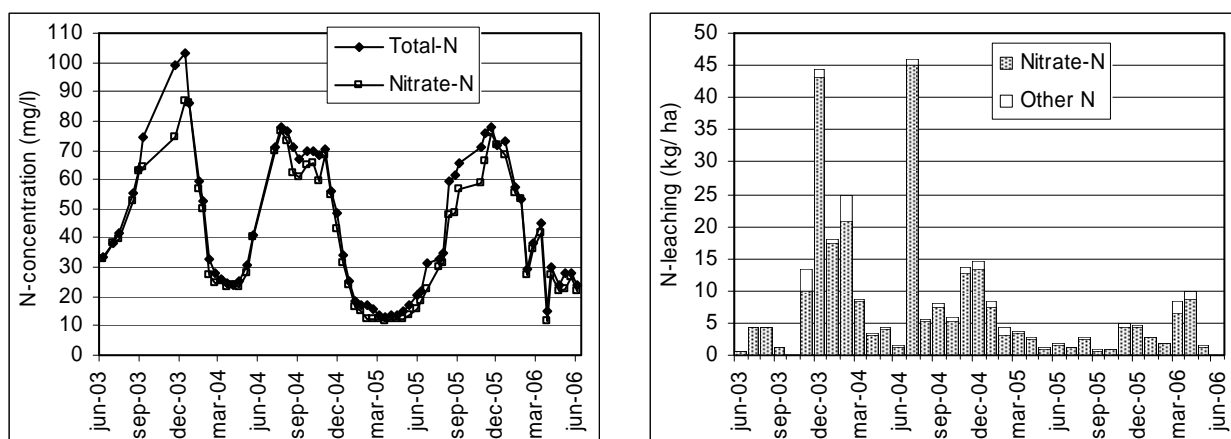


Figure 4. a) Measured concentrations of nitrate and total-N in drainage water; b) monthly leaching of nitrogen. ‘Other N’ is the difference between total-N and nitrate-N.

Nitrogen leaching as a result of the high runoff during July 2004 was 46 kg N/ha, which corresponded to approx. 40% of the total annual leaching. The mean N concentration in drainage water during that month was 74 mg/L (Figure 4), indicating that access to leachable N was very great.

A large outflow of plant nutrients at this time of the year can cause considerable N losses from cropped land but it can also have serious effects, e.g. in the form of algal bloom in the recipient water system, in this case the sea inlet of Skälderviken. From a growing perspective, the loss of N from the rootzone was almost certainly greater than the 46 kg/ha lost via the drainage system through N being transported down to soil depths beyond the reach of crop roots.

This type of episode with high runoff during the growing season is not a frequent occurrence. However the risk that such events can occur should motivate the use of fertilisation strategies that minimise the risk of severe leaching losses from the rootzone. For example, fertiliser should be applied in split doses to avoid having unnecessarily high amounts of N in the soil at times when they are not required or where they cannot be reached by crop roots. The event described above occurred mainly during the period between supplementary fertilisation and harvest of culture 2 (sown babyleaf lettuce, see Table 2), so it would have been difficult to prevent entirely.

Nitrogen concentration in drainage water

The weighted mean concentrations of nitrate-N and total-N in drainage water were 38 and 42 mg N/litre resp. (Figure 4a). The sampling occasions shown in Figure 4 were set as the time when half the volume of water represented by the sample had passed through. On most occasions nitrate-N comprised almost 100% of total-N, but the relative fraction of Other N (difference between total-N and nitrate-N) increased during the autumn periods in particular. These were periods when intensive decomposition of harvest residues and the associated release (mineralisation) of mineral N could be expected. The first stage of mineralisation results in the formation of ammonium, which is subsequently converted to nitrate. On light soils, ammonium can be easily carried off with water flow through the soil. Therefore it is reasonable to assume that a large proportion of the Other N in Figure 4 consisted of ammonium-N (not analysed).

Nitrate-N concentration from a groundwater perspective

At most sites, not all excess water is removed through the drainage system. Instead a greater or lesser proportion continues downwards and forms groundwater. The concentration of nitrate-N in drainage water can therefore also be a measure of the concentration in newly formed, superficial groundwater. The current limit for nitrate (NO_3) in drinking water and the EU limit for superficial groundwater (EU Framework Directive) is 50 mg/L, which recalculated to nitrate-N ($\text{NO}_3\text{-N}$) corresponds to a concentration of 11.3 mg/L (cf. Figure 5). It will probably be permissible to calculate an average value for e.g. a 6-year period (crop rotation average).

If these concentration requirements are to be fulfilled, this would mean that if e.g. one year in six had an average concentration of 40 mg/L nitrate-N, the average for the other five years could not exceed 5.5 mg/L. This should be possible to achieve in a 5-year grass ley, but growing of crops such as lettuce would decrease to one-sixth. Based on current experiences, it would be difficult to bring the average concentration down to 11.5 mg/L with no change in the crops grown but simply with better fertilisation strategies, catch crops, etc. However, if the concentration could be reduced to 20-25 mg/L in the years when e.g. lettuce is grown, this would be great a step in the right direction.

Results of the demonstration crop system 2005

Table 4 shows the yields (fresh weight and DM) of marketable produce and harvest residues in plots A-C and the N content of each. The starter doses and target values used for plots A-C are shown in the first column (kg per ha bed area). The harvesting method and the lack of replicates prevent any extensive conclusions being drawn, but some of the results are worthy of comment.

Yield. The highest mean fresh weight of produce in both cultures was found in plot C, while plot A had the lowest FW yield (Table 4). The standard deviation (SD) values show the spread between the three samples in each plot. Lettuce heads were not assessed for quality.

Fertilisation and N-min analyses. NPK 11-5-18 fertiliser was used in all cases. The amounts of N applied and the nitrate-N concentrations measured in the topsoil are shown in Table 5. Supplementary fertiliser at 3 weeks was only applied in culture 1. The amounts of N formally calculated to be applied to culture 2 in plots Band C were so small (2 and 12 kg/ha resp.) that they were excluded.

Table 4. Mean fresh weight of 3 samples (10 plants) per plot and calculated DM yield and N-harvest per ha field area in the demonstration culture of iceberg lettuce in 2005 (10 plants correspond to a field area of 1.2 m²). Fresh weight, DM production, N content and C/N ratio of harvest residues are also shown, as is total N in aboveground plant parts (kg/ha). SD = standard deviation

| Plot <i>Starter dose/ target</i> | Harvested produce (heads) | | | | Harvest residues (aboveground) | | | | | Total N kg/ha |
|---|-------------------------------|------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|------|------------------------|------------------------|---------------|---------------------|
| | Fresh weight, kg/10 plants | | DM yield ton/ha | N- harvest kg/ha | Fresh weight, kg/10 plants | | DM prodn. ton/ha | N- content kg/ha | C/N- ratio | |
| | Mean | SD | | | Mean | SD | | | | |
| <i>Culture 1</i> | | | | | | | | | | |
| A 90/160 | 4.79 | 0.69 | 1.97 | 62 | 1.90 | 0.09 | 1.22 | 45 | 9 | 107 |
| B 40/130 | 5.08 | 0.31 | 1.77 | 60 | 1.53 | 0.23 | 0.93 | 29 | 11 | 89 |
| C 30*/90 | 5.51 | 0.28 | 2.12 | 72 | 1.57 | 0.39 | 1.07 | 28 | 11 | 99 |
| <i>Culture 2</i> | | | | | | | | | | |
| A 60/140 | 3.58 | 0.31 | 1.12 | 46 | 1.11 | 0.31 | 0.99 | 19 | 9 | 65 |
| B 40/115 | 4.82 | 0.76 | 2.06 | 58 | 1.21 | 0.04 | 1.19 | 16 | 11 | 74 |
| C 30*/80 | 4.89 | 0.11 | 2.01 | 57 | 1.09 | 0.06 | 1.32 | 17 | 12 | 73 |

* Spot fertilisation within a 7-8 cm radius of each plant.

Table 5. Results of soil analyses with Nitratek before supplementary fertilisation, amount of fertiliser-N applied per ha bed area and comparison of analytical results with those obtained using the conventional method (kg/ha bed area)

| Plot | Starter dose | Target value | Nitratek | N-min | Conventional lab. analysis | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------------------|------------|----------------------------|--------------------|-------|
| | | | NO ₃ -N value | fertiliser | NO ₃ -N | NH ₄ -N | Total |
| <i>Culture 1</i> | | | | | | | |
| A | 90 | 160 | 49 | 111 | 68 | 83 | 151 |
| B | 40 | 130 | 36 | 94 | 27 | 16 | 43 |
| C | 30 | 90 | 10 | 80 | 19 | 11 | 30 |
| <i>Culture 2</i> | | | | | | | |
| A | 60 | 140 | 211 | 0 | 121 | 4 | 125 |
| B | 40 | 115 | 113 | 0 | 95 | 4 | 99 |
| C | 30 | 80 | 68 | 0 | 50 | 4 | 54 |

Mineral nitrogen in the rootzone. The results from the conventional laboratory analyses are shown in Figure 5. The proportion of ammonium-N in plot A, presumably originating from the starter dose, comprised around half the N content in the topsoil on the first measuring occasion (*N-min 1*). The Nitrachek method only measures nitrate-N and thus any large amounts of ammonium-N are overlooked, which can lead to unnecessarily high supplementary fertilisation. If the extra amount of ammonium-N in plot A had been known, the supplementary dose could have been lowered by approx. 70 kg N/ha (cf. Table 5), which would probably have reduced the residual N concentration at harvest 1.

Mineral nitrogen in the soil profile. The relative distribution of N-min between topsoil and subsoil is shown in Figure 6. The main conclusion is that there may be a correlation between high, broadcast starter doses and larger amounts of residual N below crop rooting depth at harvest.

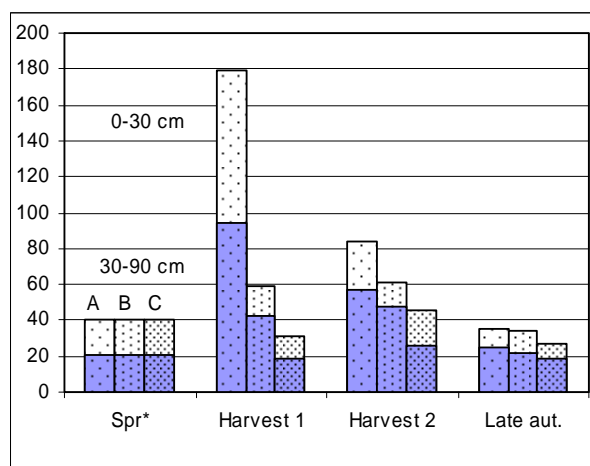
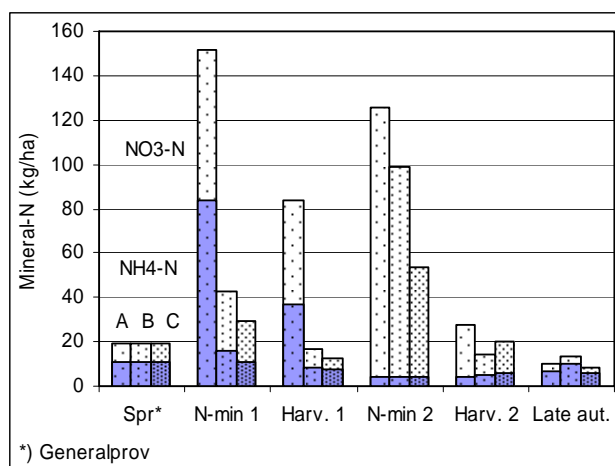


Figure 5. Nitrate-N and ammonium-N in the **topsoil layer** (0-30 cm) of demonstration plots A-C based on conventional soil analyses. N-min samples were taken ~3 weeks after planting.

Figure 6. Distribution of mineral N between topsoil (0-30 cm) and subsoil (30-90 cm) in the **soil profile** in demonstration plots A-C.

Future studies and suggestions for potential improvements

Fertilisation rates and techniques

It should be possible to improve N use efficiency. Appropriate fertilisation trials are needed to accurately determine crop N requirements and to improve fertilisation strategies for Swedish, or Nordic, conditions. The objective must be to draw up recommendations that from an economic standpoint produce a sufficiently large yield of high quality produce in different types of culture, but that also take appropriate account of the environmental impact of the cultivation system.

The method of using a strategically positioned starter dose of an NPK fertiliser for young plants (variant of “starter fertiliser” by Stone, 2000) appears worthy of further testing and refinement to include relevant target values etc. adjusted to this method. Placing the fertiliser close to the plant ensures that the newly installed plant has access to both P and N. It also ensures that fertilisation of soil with no plant roots present, and thus with no uptake of nutrients and water, is avoided. This minimises the risk of fertiliser N outside the actual rootzone being leached down below the prospective root depth of the crop (Figure 6). Leaching outside the rootzone is increased by the fact that there is no plant uptake of water in such areas of the soil to decrease the throughflow after rainfall or irrigation.

Ordinary band fertilisation along the prospective plant rows can probably be carried out using existing farm machinery. With a row spacing of 30 cm, the fertilised surface area of soil

is reduced by around two-thirds. This allows the same fertiliser 'concentration' to be achieved in the vicinity of the row as with broadcasting, but with one-third the fertiliser dose per hectare. In cultures that are sown at normal row spacing (~ 12 cm), the technique used for band incorporation in cereals can be used, with a fertiliser band between each-other row of seed. The fertilised area is thereby decreased to around half.

A more spot-based method of fertilisation (as in plot C above) in planted cultures requires fertilisation to be synchronised with planting, which would perhaps necessitate some adaptation of machinery. The fertiliser can be placed e.g. as a 15 cm long band alongside the row, with the plant placed in the middle of this fertiliser band. With 30 cm plant spacing the fertilised area could be halved again compared with the band fertilisation described above (to approx. 1/6 of the entire area). Achieving the same fertiliser concentration per unit area as with broadcasting, e.g. 100 kg N/ha, would require ~ 1.5 g of NPK 11-5-18 per plant. It should be possible to find technical solutions for this in e.g. the cell wheel metering currently used for sowing maize and sugarbeet.

Precision fertilisation

With the amounts of N required in e.g. lettuce growing, a split dose is necessary. Some form of target value to identify the amount of N that has to be applied in supplementary fertilisation must be regarded as essential in achieving the objective of appropriate environmental protection.

Measuring available soil N by soil sampling can provide more information on the future crop nutrient status than e.g. leaf analysis, as the latter reflects how availability/uptake of N has been in recent days. For this to function in practice, a reliable method of performing on-farm soil analysis is necessary in most cases. There is often an insufficient time margin to e.g. adjust soil sampling occasion to a particular day of the week (postal service etc.) and then wait 1-2 days for the results of analysis.

Nitrogen analysis on soil samples. In brief, soil analysis involves careful mixing of the sample, measuring or weighing out a known quantity of soil and shaking it with a known amount of distilled water (or a KCl solution if ammonium is to be analysed). After filtration or similar, the N concentration in the water solution (extract) is measured. The water content of the original sample must also be determined. The amount of N in the extraction sample is calculated by multiplying the analytical value (mg/L) for the extract by the amount of extraction solution (L). Depending on analytical method, nitrate content values may have to be converted to nitrate-N content. When the amount of N in the extraction sample is known, the N content per unit dry soil (e.g. kg N/ton dry soil) can be calculated and further converted to kg N/ha using data on the thickness of the soil layer and its bulk density.

Results of various analytical methods. The differences in nitrate-N amounts in the topsoil appear very large on some occasions (Table 5) when comparing the results from the conventional laboratory method used at SLU and the on-farm method using a Nitrachek meter to determine the nitrate content in the extract. The reasons for this discrepancy should be investigated further. However this does not necessarily mean that the on-farm method is less applicable for the intended aim. The number of comparative samples in this study was very small and there is no analytical method that can provide the *actual true value*.

However, in the case of soil analysis there are a number of factors that can play a decisive role for the end results, regardless of the method used. For example, the thoroughness with which the soil sample is mixed before the extraction subsample is taken is very important, as is the way in which the actual water content of the sample and the bulk density/volume of the soil layer are determined in conversion from mg/L in the extract to kg/ha, and the method of calculation used. The results of correctly performed nitrate-N analyses should not deviate by more than perhaps $\pm 10-15$ kg/ha.

Ammonium-nitrogen. The problem of having periodic events of extra large amounts of ammonium-N that are missed by e.g. Nitrachek testing cannot be ignored. However, the potential exists to circumvent the problem without the need for additional measuring equipment but this may require an altered fertilisation strategy and possibly access to a fertiliser with a different composition.

- If the method of placing a low starter dose only beside the plant/plant row is adopted, an NPK fertiliser containing ammonium-N can still be used if the N-min soil samples are taken from between the fertilised areas. (The supplementary dose may also have to consist of NPK fertiliser to ensure a sufficient supply of e.g. P and K.)
- Base fertilisation with P and K (and essential micronutrients) is supplied in the form of a separate PK fertiliser and a pure nitrate fertiliser is used for the starter dose.

These proposals aim to minimise the risk of soil samples being contaminated with extra ammonium-N, based on the assumption that such extra ammonium-N at the time of sampling probably originates from newly applied (<1 month) fertiliser.

REFERENCES

Torstensson, G. 2002. Kväveutlakning i frilandsodling av sallat på sandig mojord med reducerade börvärdesnivåer. Ekohydrologi Nr 62, Avd. för vattenvårdslära, SLU, Box 7072, 750 07 Uppsala.

Lindén, B. 1977. Utrustning för jordprovtagning i åkermark. Rapport 112. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Lindén, B. 1979. Alvprovtagning med "Ultuna-borren"- för markkartering och framtida N-prognoser. Rapport 120. Avdelningen för växtnäringslära, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

Stone, D.A. 2000a. The effects of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. *Soil Use and Management* 16, 42-48.

Stone, D.A. 2000b. Nitrogen requirement of wide-spaced row crops in the presence of starter fertilizer. *Soil Use and Management* 16, 285-292.