

Kvävefixering i rödklöverrika vallar – kvantifiering av N i hela växten samt N utsöndrat från rötter

Sigrun Dahlin, Maria Stenberg, Håkan Marstorp & Bo Stenberg, Inst för mark och miljö, SLU.

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	1
Sammanfattning	2
Inledning och syfte	2
Bakgrund	3
Material och metod	5
Resultat och diskussion	8
Vallens växtsäsong	8
Skottproduktion och ^{luft} N i skottbiomassan	8
Överföring av ^{luft} N från klöver till gräs	9
Fixerat ^{luft} N ovan och under markytan	10
Upptag av ^{luft} N från skottbiomassa i putsade led	10
Summering: total mängd fixerat N och dess fördelning	11
Kväveefterverkan	12
Slutsatser	17
Referenser	17
Populärvetenskapliga presentationer från projektet	18
Vetenskapliga publikationer från projektet	19

Sammanfattning

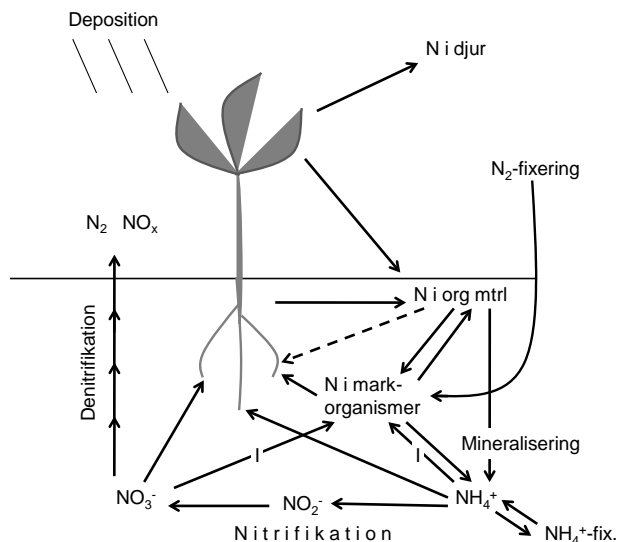
Vi testade effekten av putsnings-/skördestrategi (skördat, putsat, intakt) på den symbiotiska kvävefixeringen och distributionen av det fixerade kvävet i fältförsök med grön gödslingvallar under tre år, och kväveeffekten under året närmast efter varje vallår. Vallarna bestod av renbestånd med rödklöver eller blandbestånd med rödklöver och engelskt rajgräs. Symbiotisk N_2 -fixering hos klöver, överföring av N från klöver till gräset, N av klöverursprung under markytan och i skottföna, samt återupptag av N från kvarliggande skottmaterial i putsade bestånd bestämdes med hjälp av ^{15}N -teknik. Utifrån dessa mått beräknades den totala mängden fixerat N i mark-växsystemet. Den totala mängden fixerat N var större i skördade och putsade bestånd (medel 453 kg N/ha) än i de intakta (medel 318 kg N/ha). Återupptaget av N i de putsade leden var 21% och bidrog med 13.7% (ren klöver) och 2.2% (blandbestånd) av återväxtens N. Återupptaget minskade inte signifikant mängden fixerat N i de putsade jämfört med de skördade leden. Av det fixerade N återfanns i medel 53% (intakta bestånd), 46% (skördade) respektive 60% (putsade) under markytan. I de skördade leden hade en stor del av det resterande kvävet exporterats från fältet. De putsade bestånden kan ha förlorat i genomsnitt 7% av det fixerade N. Även om den totala N_2 -fixeringen inte skiljde mellan skördade och putsade led var det alltså en påtaglig skillnad på var detta N förelåg.

Efter brytning av vallarna på hösten fanns det mest mineral-N sen höst i rutor där det vuxit intakt ren klövervall. Kväveeffekten i den efterföljande havren året därpå gav merskördar efter den rena klövervallen och blandvallen jämfört med den rena gräsvallen, i medel 1 ton högre skörd. Den större mängden fixerat N som uppmättes i de putsade vallarna hade inte någon tydlig effekt på havreavkastningen även om det fanns en tendens. Skillnaden i avkastning var betydligt större beroende på om det var klöver eller ej i vallarna.

Nära infraröda (NIR) spektrum från vallgrödan innan vallbrott visade ett starkt samband med kvävehalten i klöver respektive gräs. Om hänsyn togs till mängden gräs respektive klöver vid vallbrottet fanns även ett relativt bra samband till mängden mineralkväve i markprofilen sen höst efter vallbrottet. Däremot var sambandet svagt till havreskördens året efter, även om det inte är obefintligt.

Inledning och syfte

Kväve (N) tillförs många odlingsystem genom biologisk fixering av luftens kväve (N_2) hos olika klöverarter i slåtter- och grön gödslingvallar. På detta sätt påverkar de kväveflödena i mark/växsystemen direkt eller indirekt (Fig. 1). Det är viktigt att kunna bestämma mängden fixerat N i dessa system på ett tillförlitligt sätt för att kunna upprätta N-budgetar, bestämma utnyttjandegraden av N samt bedöma risker för förluster till omgivande ekosystem. Kort sagt för att kunna bedöma hur effektiva och miljövänliga dessa system är avseende N!



Figur 1. Kvävetts kretslopp i huvuddrag. I = immobilisering, dvs inbyggnad av mineraliskt N i organiska föreningar. Mineralisering innebär frigörelse av organiskt bundet N till N i mineralform/organisk form.

För att bättre förstå och kunna styra kväveinflödet till mark/växt-systemen behöver vi också förstå hur N₂-fixeringen påverkas av olika åtgärder i odlingen. I en gröngödslingsvall, som ofta putsas några gånger per säsong för att hålla ogräsen tillbaka, lämnas t ex materialet vid putsning ofta kvar på markytan och mycket lite har varit känt om det kvarliggande skottmaterialets inverkan på N₂-fixeringen och på N-dynamiken i marken. I detta projekt har vi bestämt

- den totala N₂-fixeringen hos rödklöver i en gröngödslingsvall i fält
- den andel av fixerat N som återfinns i rötterna, som utsöndrats av rötterna till marken ("underjordiskt N"), och som tagit upp av rajraset i blandade klöver/gräsbestånd
- effekten av putsning och N-recirkulation från eventuellt kvarliggande skottmaterial på N₂-fixeringen
- effekten av putsningen på vallens N-efterverkan och risk för N-förluster samt om vallens N-efterverkan kan predikteras utifrån NIR-analys av vallens kvalitet.

Bakgrund

I ekologisk produktion är N₂-fixeringen i slåtter-, betes- och gröngödslingsvallar av synnerligen stor betydelse och utgör en tung del i produktionssystemens N-budgetar. Tillförseln av N genom biologisk fixering är dock ofta svår att uppskatta, vilket gör budget-beräkningar osäkra. Vid en kvantifiering av den totala N₂-fixeringen är det nödvändigt att räkna med både det N som finns i ovanjordiska växtdelar och det som finns i marken i form av rötter och substanser avgivna från rötter, något som är (svårt och) tidsödande rent praktiskt. För att få ett mått på kväve i finrötter, rothår och rhizodeposition¹ kan man mata in ¹⁵N-isotopen² i växten via bladen (McNeill m fl, 1997). De studier som tidigare genomförts har visat att den totala mängden fixerat N som finns under markytan är större än tidigare skattningar utan ¹⁵N-teknik tytt på. I en av de få undersökningar som utförts under fältförhållanden fann Høgh-Jensen & Schjoerring (2001) att rhizodepositionen för röd- och vitklöver över en tvåårsperiod var större än den mängd kväve som bortförts med skördarna. Rhizodepositionen utgjorde där 80-87 % av det fixerade kvävet återfunnet i jorden. Eftersom deras data var så mycket högre än

¹ Rhizodepositionen består av substanser som avges från rötterna och av avdöda delar av rötterna.

² ¹⁵N är en isotop av kväve. Den har en extra neutron i atomkärnan jämfört med den betydligt vanligare isotopen ¹⁴N, och är alltså tyngre.

data tidigare framtagna för andra baljväxter och förhållanden fanns dock misstanke om att det ”underjordiska” kvävet kunde innehålla N även från ovanjordiska växtdelar som dött och brutits ned under mätningens gång.

Fixerat N förloras alltså i viss mån från baljväxterna. Detta N kan till viss del tas upp av beståndet redan under samma växtsäsong. I blandvallar med t ex gräs och klöver innebär det att klövern till viss del försörjer gräset med N. Mängden överfört N har visats bero av proportionen mellan ”givarart” och ”mottagarart”, av rötternas omsättningshastighet och mängden fotosyntesprodukter som translokeras till rötterna (Rasmussen m fl, 2007). Andra faktorer som rimligen påverkar överföringen är omsättningen av baljväxternas rotknölar och rotsystemets storlek eftersom detta påverkar mängden rhizodeponerat N (De Graaff m fl, 2007). Odlingsåtgärder som påverkar dessa bör därför även påverka N-överföringen från exempelvis klöver till gräs i fält.

Gröngödselgrödor putsas ofta för att hålla beståndet vegetativt, för att motverka ogräs och underlätta nedplöjning av grödan. Strategierna varierar dock; ibland bortförs skottbiomassan från fältet, ibland lämnas den kvar, och i ytterligare några fall putsas grödan inte. Putsning påverkar baljväxternas N₂-fixering på flera och ofta motverkande sätt. Likaså kan putsningen påverka mängden N som avges genom rhizodeposition på flera sätt. Att förutsäga hur nettoeffekten av putsningen blir på den totala N₂-fixeringen och rhizodepositionen är därför svårt. Fältförsök där detta hade studerats saknades helt.

Merparten av N i avputsat material blir kvar på markytan eller lakas ned i marken i form av oorganiskt N eller lösliga organiska N föreningar. En ökad halt oorganiskt N i marken sänker andelen fixerat N hos baljväxter. Gödslingsförsök har visat att denna effekt är märkbar främst vid höga halter oorganiskt N (t ex Nesheim & Øyen, 1994; Høgh-Jensen & Schjoerring, 1997). Koncentrationen av N liksom den totala mängden N i det putsade materialet är dock så höga att det lokalt skulle kunna uppkomma så höga halter oorganiskt N i marken att fixeringen påverkas. Vidare kan ökad koncentration oorganiskt N i marken leda till gräset i blandvallar blir mer konkurrenskraftigt. Vissa försök har visat att detta kan leda till minskad N₂-fixering (Heuwinkel m fl, 2005). Mängden pålagd skottbiomassa (och därmed mängden N) var dock betydligt högre i de försöken än motsvarande det som växte på ytan.

De organiska N-föreningar i växtrester som blir kvar på markytan och i marken, samt deponerats i marken, befinner sig i olika stadier av nedbrytning vid odlingssäsongens slut, bland annat beroende på den tidpunkt när grödan blivit avslagen. Vid nedplöjning av gröngödslingsvallen kommer detta N att utgöra en del av den pool av organiskt N som potentiellt kan mineraliseras. Nedbrytningen och N-mineraliseringen har en central betydelse för grödornas näringsförsörjning i ekologisk odling, liksom för riskerna för näringsläckage. Det är därför viktigt att kunna kvantifiera denna pool och bestämma dess mineraliserbarhet, och på sikt att hitta snabba och billiga metoder för detta. Bestämning av NIR (nära infrarött)-spektrum hos växtmaterialet används idag som ett mått på den kemiska kvaliteten, inte minst för fodervärdesbestämning av grovfoder (Fahey och Hussein, 1999). Även mineraliserbarheten av en mängd växtmaterial har kunnat bestämmas med NIR-spektroskopi (Bruun m fl, 2005; Shepherd m fl, 2005; Henriksen m fl, 2007). Valideringar av dessa modeller gentemot fältförsök har däremot knappast genomförts.

För att fylla dessa kunskapsluckor har vi i det genomförda projektet bestämt den totala N₂-fixeringen i gröngödslingsvallar med rödklöverbestand och blandbestand av rödklöver och engelskt rajgräs. Vi har bestämt var i mark/växt-systemet det fixerade N föreligger vid växtsäsongens slut, samt predikerat och validerat N-efterverkan. Fokus har legat på effekten av olika putsningsstrategier på dessa. Dessutom har vi via ¹⁵N-budgetar skattat N-förlusterna från det putsade växtmaterialet.

Material och metod

Undersökningarna genomfördes tre år i rad i fältförsök på sandjord (7.3% clay, 6.1% silt, 87.4% sand, 1.5% C, 0.13% N, pH 6,2) på Bjertorps egendom i Västergötland (lat. 58°15'N, long. 13°6'E).

Försöken bestod av rutor med ren rödklövervall, ren rajgräsvall (engelskt rajgräs, som referensgröda) samt blandvall vilka antingen klippts med vallskördemaskin (Kuhn BKE250) två gånger under växtsäsongen eller lämnats intakta före slutprovtagningen på hösten (Fig. 2). I rutorna lades småtytor av två typer ut för detaljstudier med hjälp av isotopteknik: mikroparceller och mezotroner.



Figur 2. Principskiss för försöken. Obs! Ej skalentligt!

I *mikroparcellerna* (Fig. 3) beräknade vi hur stor andel av klöverskottens och grässkottens N som kom från luften genom N_2 -fixeringen (i grässets fall genom överföring från klövern) om putset tilläts ligga kvar respektive bortfördes (se faktaruta på nästa sida, samt Fig. 4). I vissa *mezotroner* skattade vi hur N från klövern fördelades inom växten och i jorden. Klöverplantorna i dessa mezotroner ”matades” med ^{15}N -lösning via enskilda klöverblad (Fig. 3b), varefter inmärkingen kunde följas ut i jorden så att mängden ”underjordiskt” N som kom från klövern kunde skattas. I samband med putsningen klipptes och bortfördes skottmaterialet från vissa mezotroner medan den ersattes med omärkt skottmaterial i andra. Ytterligare andra mezotroner användes för att mäta recirkuleringen av N från kvarliggande skott. I dessa – tidigare oinmärkt – mezotroner ersattes skottmaterialet i samband med putsningen med ^{15}N -inmärkt skottmaterial och ^{15}N -märkingen följdes in i jord och nytillväxt. Den totala biologiska N_2 -fixeringen skattades genom korrigering av fixeringsdata för skotten med data för underjordiskt N och recirkulering av N från kvarliggande skottmaterial.

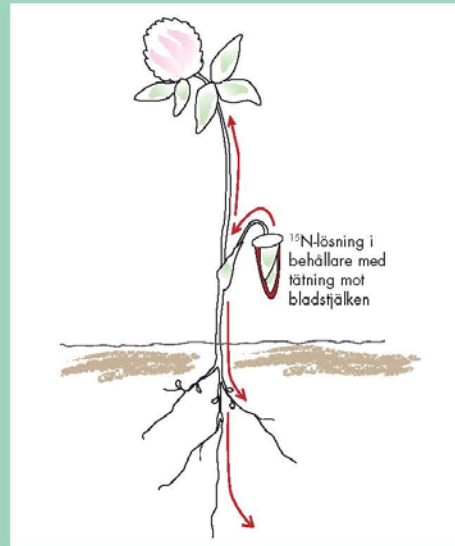
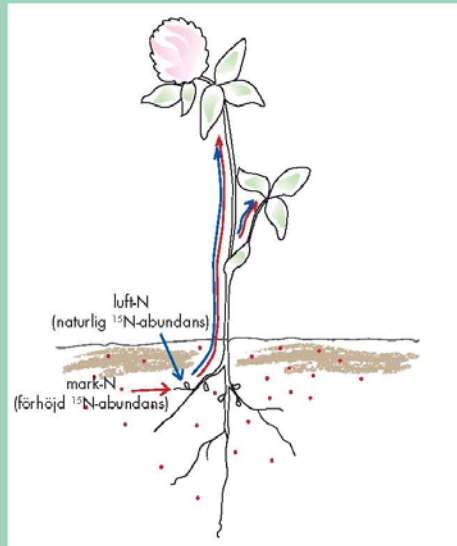


Figur 3. a) ^{15}N -inmärkning av jord i mikroparcell, och b) mezotron med ^{15}N -inmärkning av blad.

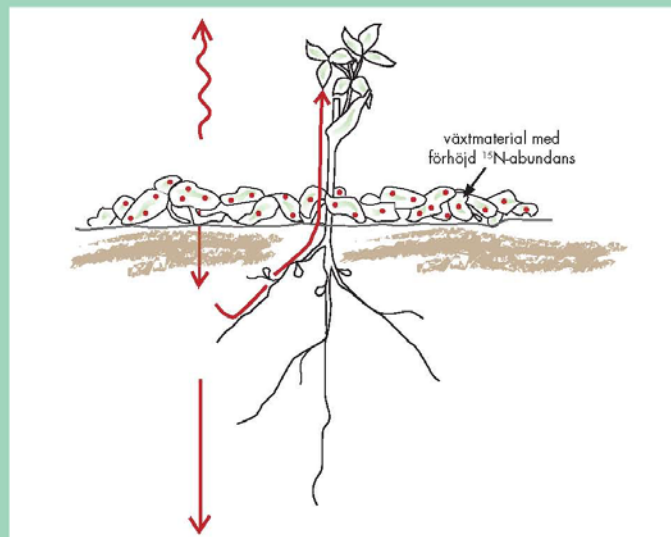
FAKTARUTA INMÄRKNINGSTEKNIKER

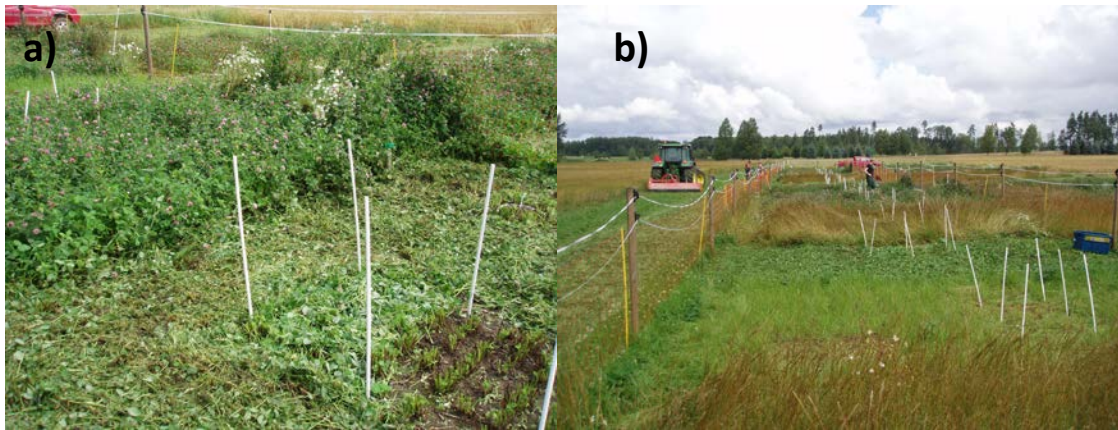
I FÄLTFÖRSÖKET ANVÄNDS ISOTOPTEKNIK I TRE SAMMANHANG

1. Extra ^{15}N tillförs marken så att abundansen ("koncentrationen") ^{15}N blir högre än bakgrundens (den omärkta jordens). Utspädningen som uppkommer genom att kväve fixeras från luften (med naturlig abundans) används för att beräkna hur stor andel av plantans kväve som kommer från luften respektive marken.
2. Plantorna märks in med ^{15}N via bladen. ^{15}N fördelar sig i alla plantdelarna och i de föreningar som avges från rötterna. Vi kan sedan beräkna hur mycket kväve från växten som finns kvar i rötterna respektive har avgetts till marken.



3. Det ^{15}N -märkta avslagna växtmaterialet flyttas till omärkt jord med omärkta planter. När det avslagna materialet bryts ned kan vi se vart det frigjorda kvävet tar vägen.



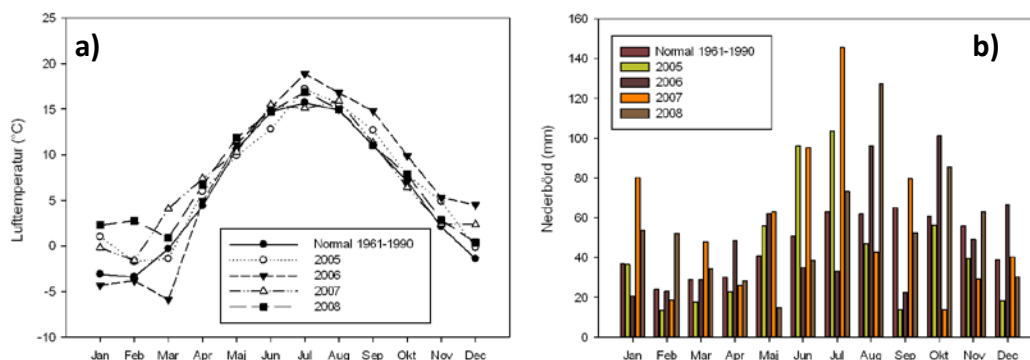


Figur 4. a) Mikroparcell med och utan kvarliggande skottmaterial efter skörd/putsning respektive intakt, och b) översikt över försöket 2007 i samband med andra putsningen/skörden.

Även större nettorutor lades ut för bestämning av N-efterverkan (i form av mineral-N-halt i marken och N-upptag och biommassatillväxt hos följande gröda). I dessa ytor odlades havre året efter brytning av vallarna. Under havrens tillväxt gjordes en mätning med handburen Yara N-sensor, som mäter det nära infraröda ljus som grödan reflekterar (NIR)³, vid axgång för att få en uppskattning av tillväxt och N-upptag under säsongen. Grödans klorofyllhalt korrelerar med N-sensorns index Si1 och grödans biomassa med index Si2. Havren skördades rutvis för bestämning av avkastning och N-skörd. Under efterverkansåret togs också jordprover för att följa N-innehållet i jorden beroende av valled. Detta gjordes sen höst efter vallbrottet, tidig vår innan sådd och vid skörd av havren.

Alla vallprover från de tre åren analyserades med NIR. Analysen utfördes på malda torkade prov i laboratoriet. Efter en första bearbetning av data uteslöts förnaprover och rotprover då kontaminering av en varierande mängd jord orsakade för mycket brus för att spektrumet skulle vara användbara för en fortsatt analys. Endast data från växande vall vid vallbrottet i mikroparcellerna användes därför för att studera sambanden till mängden mineralkväve i marken sen höst och tidig vår efter vallbrottet samt till havreskörden i motsvarande storruta. Prediktionsmodeller för detta kalibrerades med den empiriska metoden "Partial Least Squares" (PLS).

Data över temperatur och nederbörd hämtades från närliggande klimatstation (Figur 5a,b).



Figur 5. a) Temperatur och b) nederbörd under de fyra försöksåren samt under perioden 1961-1990.

³ För mer information om N-sensormätningar se till exempel Precisionsskolan på <http://www.agrovast.se/precision/>

Resultat och diskussion

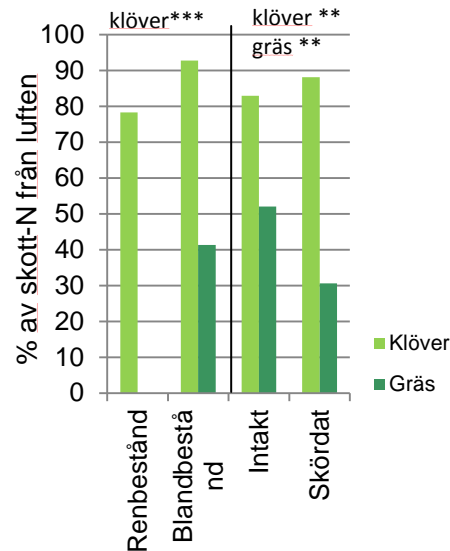
Vi har delat upp redovisningen i två delar: N-flöden och pooler under **vallens växtsäsong**, respektive **N-efterverkan**. Olika N-flöden och N-pooler under vallens växtsäsong presenteras separerade och följs sedan av den sammanvägda bilden av vallens totala N₂-fixering och var i markväxtsystemet detta N återfanns. Kväveefterverkan beroende av vallens skötsel och sammansättning har vi mätt i fält och också predikerat med NIR-mätning av växtmateriallets kvalitet, vilket redovisas sist.

Vallens växtsäsong

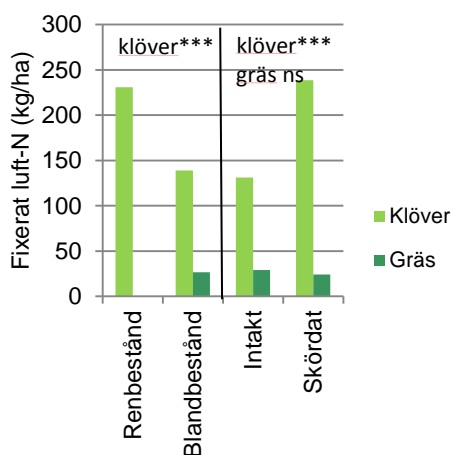
Skottproduktion och luft-N i skottbiomassan

Biomassaproduktionen i de skördade leden var normal för området. Mängden fixerat luft-N och dess bidrag till klöverskottens total-N var också inom det spann som tidigare (om än inga svenska) studier visat. Bestånden bör alltså ha varit representativa för vallar i sitt slag. Jämförelsedata för de oputsade leden saknas.

Fixeringens bidrag till klöverns N-försörjning var något större i de putsade leden (86%) än i de oputsade (medel 83%), och tydligt högre i blandbestånden (92%) än i renbestånden (78%) (Fig. 6).



Figur 6. Bidrag från fixerat luft-N till klöver- och grässkottens totala N-innehåll (medel för tre år). **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$.

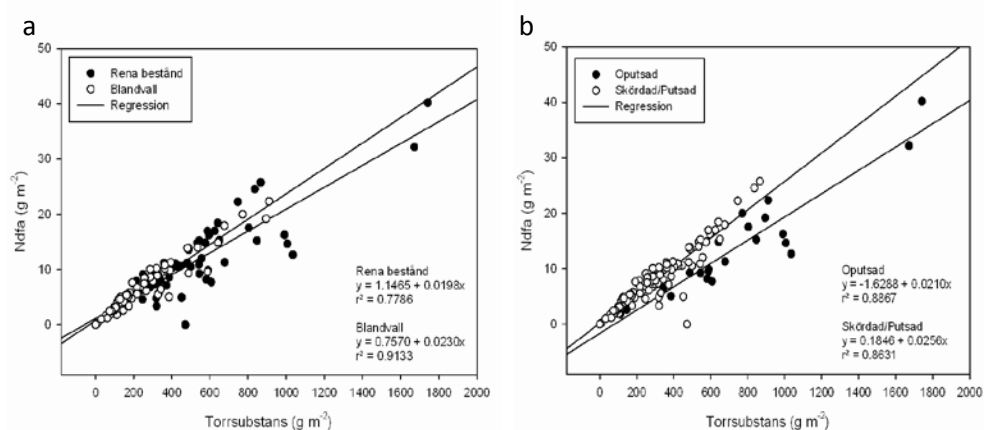


Figur 7. Mängden fixerat luft-N i klöverskotten över växtsäsong (medel för tre år).

= $p < 0,01$; *= $p < 0,001$.

Mer luft-N ackumulerade över växtsäsongen i klövern i renbestånd (230 kg/ha) än i blandbestånd (137 kg/ha) (Fig. 7). Mer luft-N ackumulerade i klövern i skördade bestånd (238 kg/ha) än i intakta (131 kg/ha), men det var ingen skillnad i ackumulerad mängd luft-N i skördat och intakt gräs.

Mängden fixerat luft-N var starkast relaterat till biomassaackumuleringen, men modifierades i viss mån av beståndssammansättningen och avslagningsstrategin (Fig. 8).

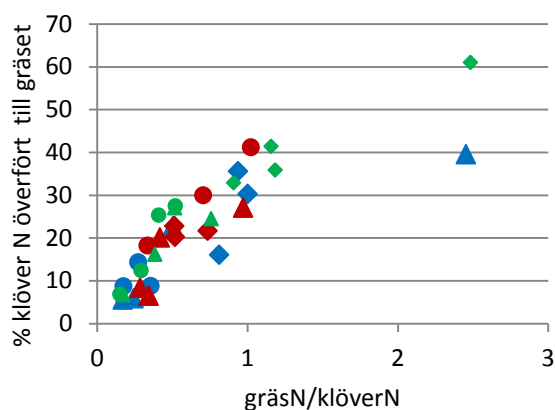


Figur 8. Mängd fixerat luft-N (g/m^2) som funktion av biomassaackumuleringen (g ts/m^2) a) i renbestånd och blandbestånd, respektive b) i intakt och skördat/putsat bestånd. (OBS! multiplicera värden med 10 för att få kg N/ha)

Överföring av luft-N från klöver till gräs

Överföringen av luft-N från rödklövern till rajgräset via rötterna varierade mycket inom bestånden och motsvarade en överföring på 1-64 kg N/ha på de enskilda mätpunkterna, utan signifikanta skillnader mellan leden. Överföringen (beräknat som andelen av totalt fixerat luft-N som överfördes från klöver till gräset) kunde främst relateras till kvoten mellan mängd N i gräs och klöver (Fig. 9), eller kvoten mellan gräs- och klöverbiomassan, och skiljde inte heller signifikant mellan leden. Överföringen bidrog med 1-79% av gräsets total-N, med signifikant högre medelvärde (52%) i de oputsade leden än i de putsade (31%).

Då även överföring via N-förluster från de ovanjordiska växtdelarna (vissnande blad i intakta bestånd och kvarliggande skott i putsade bestånd) togs med var överföringen däremot större i de putsade och intakta leden än i de skördade leden. Detta tyder på att N-överföringen inte påverkas av klippningsstrategierna i sig så länge inte skottbiomassa lämnas kvar på fältet och så länge klippningsfrekvensen inte påverkar mängden bladavfall i beståndet.



Figur 9. Överföring av N från klöver till gräs i intakt (grönt), skördat (blått) och putsat (rött) bestånd.

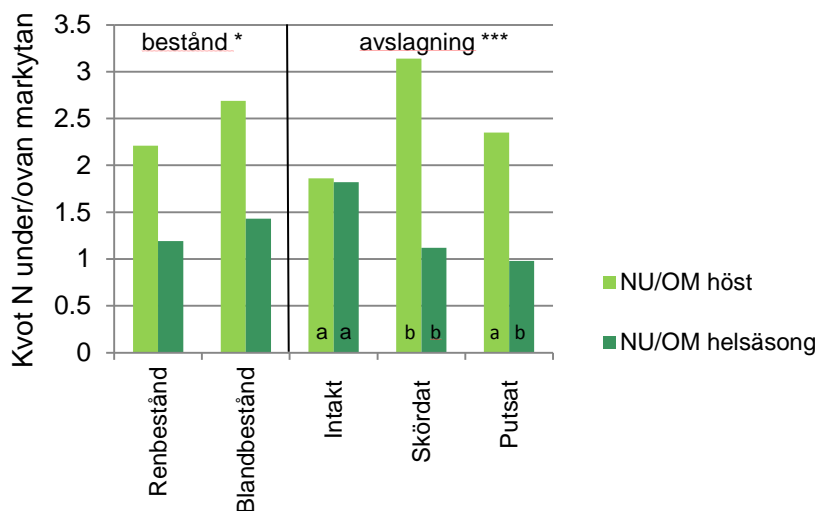
Fixerat luft-N ovan och under markytan

Mängden underjordiskt N av klöverursprung var större i de rena klöverbestånden (211 kg/ha) än i blandbestånden (146 kg/ha), men likartad i de skördade, putsade och intakta leden. De likartade mängderna oavsett klippningsstrategi indikerar att den minskning i rotbiomassa som klippningen leder till (och den åtföljande minskningen i rhizodeposition) kompenseras av en ökning i rhizodeposition per rotbiomassa som en följd av själva klippningen.

Kvoten mellan underjordiskt N av klöverursprung och N i hela säsongens skottbiomassa var följaktligen högre i de oputsade leden (1,8) än i de putsade (0,94) (Fig. 10). Om kvoten i stället beräknades gentemot den stående skottbiomassan vid provtagningstillfället (på hösten) var den däremot högre i de skördade leden än i de intakta och putsade. Resultaten tyder på att skattningar av underjordiskt N av klöverursprung baserade på årsbiomassaproduktionen kan ge underskattningar i oputsade vallar om samma faktor används som för putsade eller skördade vallar. Baserat på den stående biomassan under hösten kan felet bli det omvända.

En jämförelse mellan renbestånd och blandbestånd visade att skillnaden var mindre i medelvärdena för kvoten underjordiskt N/ovanjordiskt N baserade på såväl årsbiomassaproduktion och stående biomassa på hösten. Blandbestånden hade dock en något högre kvot, dvs N av klöverursprung förelåg i något högre grad under markytan i blandbestånden.

Av det N som uppmättes under markytan utgjorde de ”plockbara” rötterna bara ca 15% (skördade och putsade) - 20% (intakta). Större delen av det underjordiska N av klöverursprung förelåg alltså i mycket fina rötter, rothår och rhizodeponerat material.



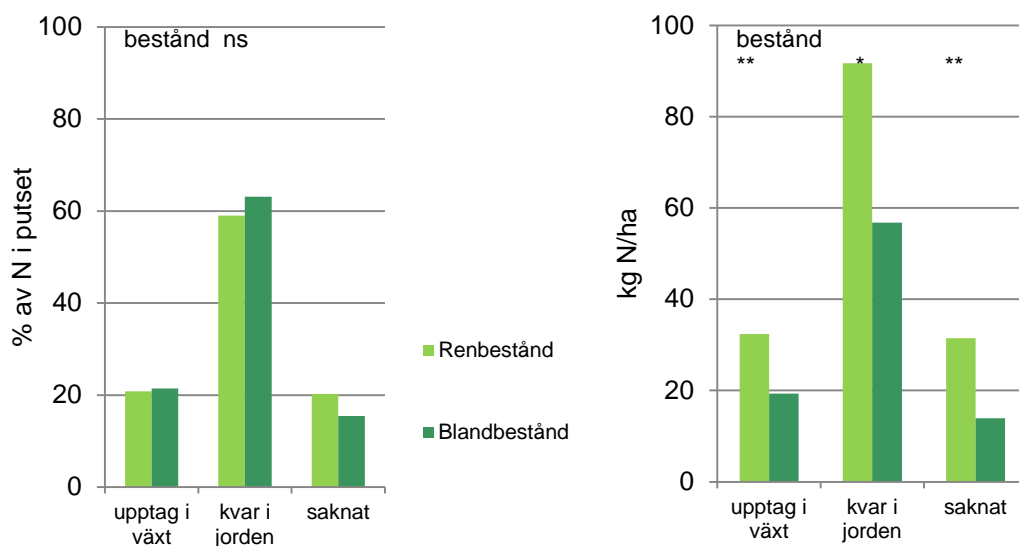
Figur 10. Relationen mellan N av klöverhärkomst som återfanns under och ovan markytan (N Under/Ovan Mark, NU/OM) (medel för tre år). **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$

Upptag av luft-N från skottbiomassa i putsade led

Återupptaget av N från skottbiomassan i de putsade leden var måttlig: på hösten återfanns huvuddelen i jorden eller i kvarliggande delvis nedbruten skottbiomassa (Fig. 11). Cirka 21% återupptogs av vallen sett över hela säsongen, likartad i ren klöver och blandbestånd. Däremot var mängden

recirkulerat N större i klöverbestånden som en följd av att N-mängderna var större i dessas skottbiomassa. Totalt återfanns i medeltal 82% av N från det inmärkta skottmaterialet i mark-växt-systemet på hösten, medan alltså 18% saknades. Eftersom det under växtsäsongen förelåg ett nederbördsunderskott är det osannolikt att något N utlakats. Därför hade troligen det saknade N förlorats genom förluster i gasform som t.ex. ammoniak eller lustgas.

I renbestånden bidrog recirkulerat N till 14% av klöverns N-innehåll på hösten medan det endast utgjorde 1,5% av N i blandbeståndens klöver (där merparten tagits upp av gräset). Återupptagets bidrag till klöverns N-ekonomi var alltså mycket litet. Även Heuwinkel m fl (2005) och Rasmussen m fl (2008) återfann merparten av det återupptagna N i vallens gräskomponent. Heuwinkel m fl uppmätte trots detta en minskning i N₂-fixeringen, men denna sammanhänger med att de putsade bestånden fick en minskad andel klöver i och med att gräset blev mer konkurrenskraftigt snarare än att fixeringsaktiviteten sjönk hos klöverplantorna. Någon sådan förändring i beståndssammansättning till följd av putsningen såg dock inte vi i dessa försök, vilket kan bero på att mängden tillförd skottbiomassa var betydligt mindre än den i Heuwinkels m fl försök (den motsvarade där fler gånger biomassan som vuxit på plats).



Figur 11. Upptag av N i kvarliggande skottbiomassa i putsade led i vallens återväxt, N återfunnet i jorden (inkl. mer eller mindre nedbruten skottbiomassa från putsningarna) samt N som saknas vid växtsäsongens slut; a) i % av N i skottbiomassa kvarlämnad vid putsning, och b) i kg N/ha. *=p<0,05; **=p<0,01.

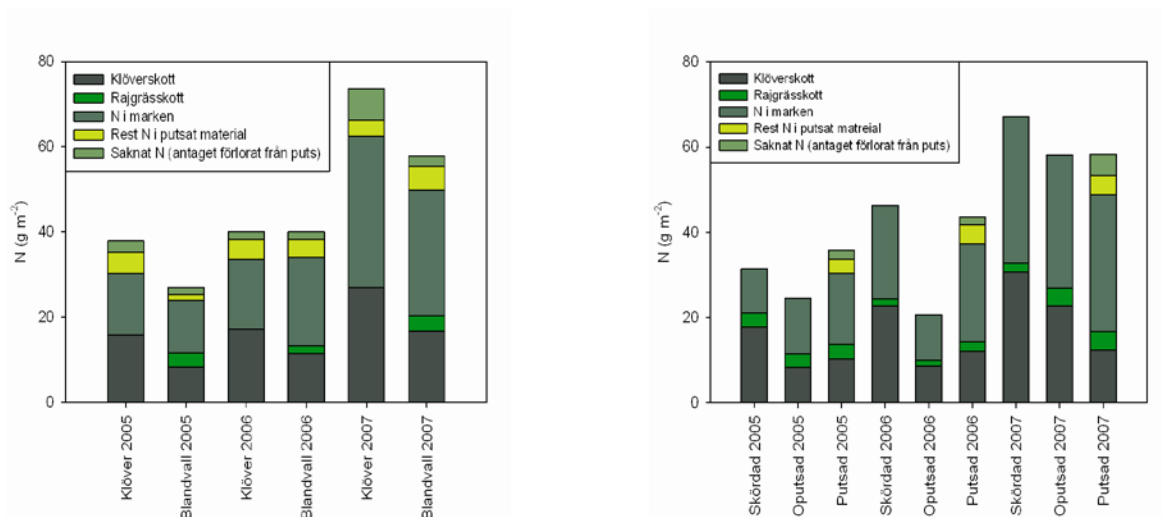
Summering: total mängd fixerat N och dess fördelning

Den totala N₂-fixeringen som inkluderade alla växt- och markfraktioner och var korrigerad för återupptaget av N i de putsade bestånden skiljde inte signifikant mellan renbestånd och blandbestånd (till skillnad från sett enbart till skotten) (Fig. 12). Däremot var fixeringen större i de klippta (treårsmedel 453 kg/ha) än i de intakta (318 kg/ha) leden. Detta återspeglade större mängder fixerat luft-N i klöver-skotten i de skördade och putsade bestånden än i de intakta, medan överföringen till gräset och mängden fixerat luft-N under markytan var lika.

Även om de putsade leden i genomsnitt fixerade 98 kg N/ha mer än intakta och de skördade 136 kg N/ha mer än intakta var skillnaden inte signifikant emellan putsade och skördade bestånd. Data i våra försök tyder inte på att återupptag av N ledde till en minskad N₂-fixering i de putsade leden. En eventuell minskning av N₂-fixeringen som kunde föräntas av en ökad mineral-N-tillgång

motverkades tydligen av en ökad biomassproduktion som gjordes möjlig när andra tillväxtbegränsningar minskade (t ex genom tillgång till vatten eller andra näringsämnen än N). Andra studier har visat att putsning kan minska N₂-fixeringen (Heuwinkel m fl, 2005; Loges m fl, 2000). I de studierna användes dock betydligt större mängder skottbiomassa per ytenhet, väderleken gynnade omsättning av skottbiomassan samtidigt som markens N-levererande förmåga var stor. Sammantaget gav det en högre tillgång till mineral-N i de studierna än vad fallet var i våra försök. Skottbiomassans N-innehåll och nedbrytningsmönster, jordens N-levererande förmåga och, förstås, beståndens tillväxt (och därmed dess N-behov) avgör alltså om N₂-fixeringen påverkas av återupptaget av N i putsade bestånd.

Av det fixerade N återfanns i medel 53% (intakta bestånd), 46% (skördade) respektive 60% (putsade) under markytan. I de skördade leden hade en stor del av det resterande kvävet exporterats från fältet. De putsade bestånden kan ha förlorat i genomsnitt 7% av det fixerade N. Även om den totala N₂-fixeringen inte skiljde mellan skördade och putsade led var det alltså en påtaglig skillnad på var detta N förelåg.

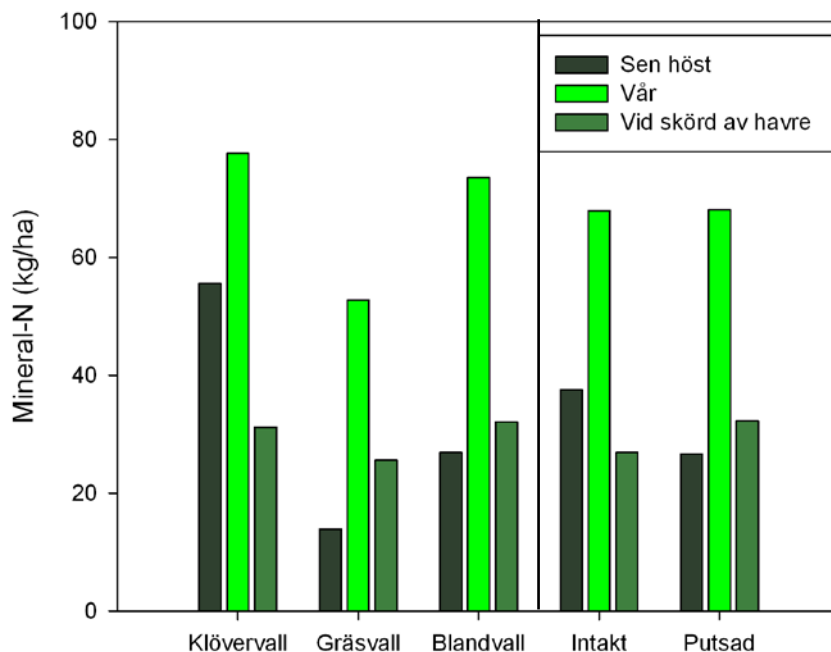


Figur 12. Totala mängder fixerat N (g m^{-2}) i a) renbestånd och blandbestånd, respektive b) intakta, skördade och putsade bestånd. Kvävet är fördelat på klöverskott, grässkott, N under markytan, samt (för putsade bestånd) N i rester av kvarliggande skottbiomassa samt saknat N. (OBS! multiplicera värden med 10 för att få kg N/ha)

Kväveefterverkan

Mineral-N i marken sen höst visade på betydligt högre halter efter den rena klövervallen än efter blandvallen och den rena gräsvallen ($p < 0,0001$), efter intakt vall än efter putsad vall ($p < 0,0001$) och ett starkt samspel mellan gröda och putsning ($p = 0,0012$). Mest mineraliserat N hade alltså ackumulerats i marken hösten efter den intakta rena klövervallen (Fig. 13). Stora mängder mineral-N i marken sen höst kan innebära stora förluster genom utlakning under följande vinter. På våren året därpå (data från två av tre år) hade mängderna mineral-N ökat ytterligare, framför allt i blandvallen och i gräsvallen och skillnaderna mellan leden hade därmed utjämnats, men fortfarande var det skillnad mellan gräsvallen och de övriga vallarna. Ledet med gräsvall året innan hade nära 30 kg mindre N/ha än vallarna med klöver. Putsningen av vallarna hade ingen effekt på mängderna mineral-N på våren. Vid skörd av havren var det mindre mängder N i marken än under våren, i medeltal endast ca 30 kg N/ha, vilket visade att havregrödan tagit upp större delen av det N som mineraliserats under

föregående vinter och under sommaren. Minst N fanns efter gräsvallen ($p=0,0105$) och efter den intakta vallen ($p=0,0046$) vilket tyder på att mer N mineraliserats under sommaren i rutor med putsad vall året innan, troligen då mer N hade fixerats i de putsade vallarna.



Figur 13. Mineral-N (kg N/ha) i medel för de tre försöksplatserna vid provtagning.

Det var inga skillnader i havreskörd eller N-upptag i havre mellan bestånd som haft ren klövervall respektive blandvall som förfrukt (tabell 1 och 2). Kärnskördarna i dessa bestånd var i medel ca. 1000 kg/ha högre än efter ren gräsvall. Kväveupptag och biomassa vid havrens axgång mätt med N-sensor de två sista åren bekräftar skörderesultaten. Mätningarna indikerade också ett större N-upptag efter de putsade vallarna jämfört med de intakta ($Si1 p=0,09$; $Si2 p=0,07$; data ej visade) precis som det fanns en tendens till högre havreskörd efter putsad vall jämfört med efter intakt vall. Den större mängden fixerat N som uppmättes i de putsade vallarna (Fig. 12) hade alltså inte någon tydlig effekt på havre-avkastningen även om det fanns en tendens. Skillnaden i avkastning var betydligt större beroende på om det var klöver eller ej i vallarna.

Tabell 1. Kärnskörd av havre (kg/ha vid 15% vattenhalt) under efterverkansåret beroende av de föregående vallarnas sammansättning och putsning

Led	2006	2007	2008	Medel
Klöver	4374 a	5343 a	4175 a	4631 a
Gräs	3627 b	3924 b	3426 b	3659 b
Blandvall	4181 a	5735 a	4293 a	4736 a
Oputsad	4033	4866	3771	4223
Putsad	4089	5136	4159	4461
Gröda	0,027	<0,0001	0,028	<0,0001
Putsning	0,789	0,071	0,147	0,167
Gröda*Putsning	0,907	0,320	0,264	0,658

Tabell 2. Kväveskörd i havrekärna (kg N/ha) under efterverkansåret beroende av vallarnas sammansättning och putsning

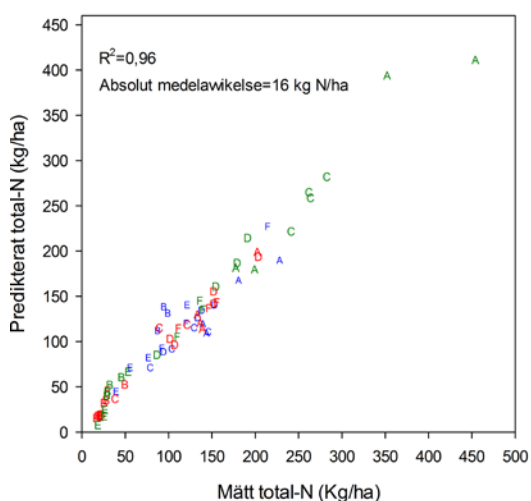
Led	2006	2007	2008	Medel
Klöver	77,3 _a	80,6 _a	67,8 _a	75,2 _a
Gräs	60,9 _b	57,9 _b	54,0 _b	57,6 _b
Blandvall	73,4 _a	88,1 _a	68,1 _a	76,6 _a
Oputsad	70,0	73,8	59,9	67,9
Putsad	71,1	77,3	66,7	71,7
Gröda	0,005	<0,0001	0,009	<0,0001
Putsning	0,761	0,110	0,080	0,153
Gröda*Putsning	0,914	0,456	0,265	0,698

En korrelationsmatris (Tabell 3) visade att mineral-N på hösten korrelerade måttligt bra till havreskörden ($r=0,5$) medan mineral-N på våren korrelerade relativt bra till havreskörden ($r=0,8$), dock saknas mineral-N på våren första försöksåret (2006). Total-N i biomassa i vallen vid vallbrott korrelerade mycket svagt till havreskördarna taget över alla år ($r=0,2-0,3$). År 2007 var korrelationen dock starkare ($r=0,7$), men endast 0,4 övriga år.

Tabell 3. Korrelationer (r) mellan N och havreskörden. Total-N avser N i vallens skottbiomassa vid vallbrott och mineral-N avser mineral-N i marken.

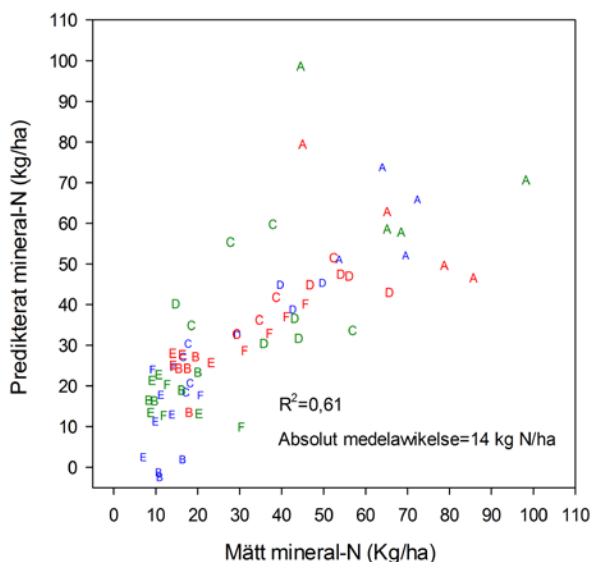
	Total-N				Mineral-N							
	vall alla år	vall 1	vall 2	vall 3	höst alla år	vår år 1 & 2	höst 1	höst 2	vår 2	höst 3	vår 3	
Mineral-N höst	0,53	0,58	0,73	0,65	1	0,67	1	1	0,53	1	0,78	
Biomassa-skörd	0,24	0,45	0,71	0,33	0,52	0,83	0,36	0,64	0,79	0,47	0,76	
Kväveskörd	0,31	0,44	0,71	0,38	0,50	0,80	0,39	0,63	0,78	0,47	0,74	

Utifrån NIR-spektrum kunde total-N i vallens biomassa vid vallbrott predikteras väl i jämförelse med traditionellt mätta värden om hänsyn togs till mängden klöver respektive gräs ($R^2=0,96$ och absoluta medelavvikelsen till mätt total-N var 16 kg N/ha; Fig. 14).

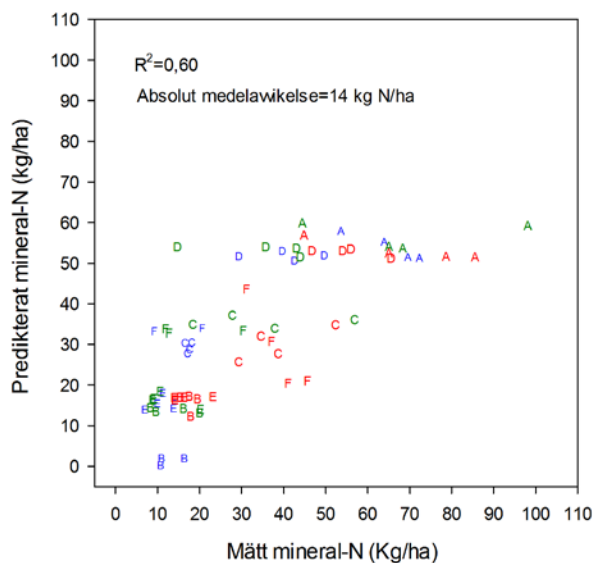


Figur 14. Total-N i vallen vid vallbrott parcellvis predikterat via intern validering, s.k. korsvalidering, utifrån NIR-spektrum och biomassa. Rödklöver (A&D), Rajräs (B&E), Blandvall (C&F), år 1 (Blått), år 2 (Rött), år 3 (Grönt).

Utifrån NIR-analys av vallproverna på det aktuella datasetet, gick det däremot inte att prediktera skördeparametrarna för havren, dvs. R^2 var mycket lågt (0,09-0-18), vilket ungefär motsvarar r-värdena för total-N och skördeparametrarna i Tabell 3. Mineral-N på hösten gick bättre att prediktera med NIR ($R^2=0,61$ med absoluta medelavvikelsen 14 kg N/ha; Fig. 15), vilket är jämförbart med vad motsvarande korsvalidering med mätta N-halter i gräs och klöver kombinerat med mängden gräs respektive klöver kunde prestera ($R^2=0,60$ med absoluta medelavvikelsen 14 kg N/ha; Fig. 16). Detta indikerar NIR går lika bra att använda som mätta N-halter, men också att det inte finns påtagligt med ytterligare användbar information med relevans för mineraliseringen i NIR-spektrum än N-halten.

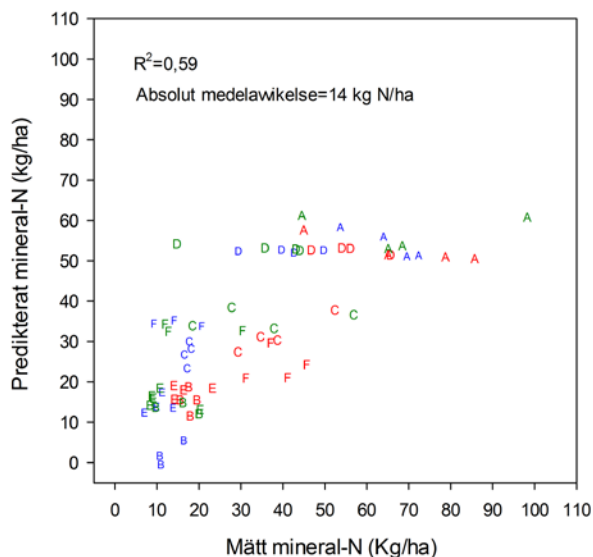


Figur 15. Mineral-N i marken sen höst efter vallbrott parcellvis predikterat via intern validering, s.k. korsvalidering, utifrån NIR-spektrum och biomassa. Rödklöver (A&D), Rajgräs (B&E), Blandvall (C&F), år 1 (Blått), år 2 (Rött), år 3 (Grönt).



Figur 16. Mineral-N i marken sen höst efter vallbrott parcellvis predikterat via intern validering, s.k. korsvalidering, utifrån mätt N-halt och biomassa. Rödklöver (A&D), Rajgräs (B&E), Blandvall (C&F), år 1 (Blått), år 2 (Rött), år 3 (Grönt).

I en tidigare studie visades likaså på goda möjligheter att med NIR-spektrum prediktera N-halter och en del andra kvalitetsparametrar i ett brett spektrum av växter och växtrester från åkermark (Stenberg m fl, 2004). Kväveminaliseringen i inkubationsförsök kunde dessutom modelleras ungefär lika bra utifrån NIR-spektrum som N-halter och andra kvalitetsparametrar, men inte bättre (Bruun m fl, 2005; Henriksen m fl, 2007). Kalibreringen i Stenberg m fl (2004) för kvävehalt testades också i den här studien. Prediktionerna korrelerade ganska väl till de mätta värdena i vallen ($r=0,85$), men led av en ganska kraftig bias, varför R^2 blev lågt¹. Den predikterade N-halten i gräs respektive klöver kombinerades därför med mängden gräs respektive klöver för prediktion av totalkväve med hjälp av PLS. Jämfört med mätta värden där R^2 naturligtvis blir nära 1 var försämringen måttlig ($R^2=0,97$), dvs ungefär lika bra som med den interna kalibreringen i Fig. 14. Med samma ingående parametrar utifrån predikterade N-halter predikterades mineral-N på hösten med motsvarande resultat som med NIR direkt eller med genomgående mätta vallparametrar ($R^2=0,59$ med absoluta medelavvikelsen 14 kg N/ha; Fig. 17). Att skillnaderna blir så små beror inte enbart på att NIR relaterar så bra till N-halten, utan också på att mängden klöver respektive gräs har stort inflytande i modellerna, något större än N-halterna (ej visade data).



Figur 17. Mineral-N i marken sen höst efter vallbrott parcellvis predikterat via intern validering, s.k. korsvalidering, utifrån N-halt predikterad med extern NIR-kalibrering, och biomassa. Rödsköller (A&D), Rajgräs (B&E), Blandvall (C&F), år 1 (Blått), år 2 (Rött), år 3 (Grönt).

¹ ”r” avser korrelationskoefficienten mellan mätta och predikterade värden, medan R^2 avser förklaringsgraden, dvs hur stor andel av variationen i mätta värden som de predikterade förklarar eller hur väl en 1:1-linje beskriver variationen.

Slutsatser

Resultaten tyder på att N-flödena är större i putsade och skördade grüngödslingsvallar än i oputsade. Mängden fixerat N som återfanns under markytan påverkades inte av putsningen, men underjordiskt N utgjorde i de oputsade leden en större andel av den totala mängden fixerat N än i de putsade leden. Detta visar att man bör ta hänsyn till putsningsstrategin vid skattning av den totala kvävefixeringen i grüngödslingsvallar.

Efter brytning av vallarna på hösten fanns det sen höst mest mineral-N i rutor där det vuxit intakt ren klövervall. Kväveefterverkan i den efterföljande havren året därpå gav merskördar efter den rena klövervallen och blandvallen jämfört med den rena gräsvallen, i medel 1 ton högre skörd per ha. Den större mängden fixerat N som uppmättes i de putsade vallarna hade inte någon tydlig effekt på havreavkastningen även om det fanns en tendens. Skillnaden i avkastning var betydligt större beroende på om det var klöver eller ej i vallarna.

NIR-spektroskopi relaterar starkt till N-halten i gräs och klöver och kan tillsammans med vallens biomassa användas för att bestämma mängden total-N i vallen. Detta samband är så pass robust att även en NIR-kalibrering för N-halt gjord på ett helt annat, mycket varierat dataset, kan användas. Eftersom total-N i vallen uppvisar ett bra samband till mängden mineral-N sen hösten kan NIR användas för att prediktera även detta. Sambanden till skörden är svagare och även om de inte är obefintliga saknar de prediktivt värde. Detta beror sannolikt på att många andra faktorer, t ex årsmånsrelaterade, hinner spela in.

Grüngödslingsvallar kan öka risken för N-förluster under både växtsäsongen (i synnerhet om vallarna putsas) och under kommande vintrar. För att minimera de potentiella negativa miljöeffekterna av grüngödslingsvallar bör dessa skördas hellre än putsas och blandbestånd med exempelvis gräs med god förmåga att tömma markprofilen på mineral-N bör användas hellre än rena baljväxtbestånd. För att detta ska vara praktiskt möjligt på rena växtodlingsgårdar krävs en marknad för vallskörden, exempelvis genom integration med djurgårdar eller att vallen kan säljas till biogasanläggningar.

Erkännande

Detta projekt har finansierats av Formas, SLU EkoForsk samt Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning vilket tacksamt erkänns. Vi vill också tacka Svalöf Weibull AB som upplåtit mark på Bjertorps försöksgård där försöken har genomförts.

Referenser

- Bruun S, Stenberg B, Breland TA, Guðmundsson J, Henriksen TM, Jensen LS, Korsæth A, Luxhoi J, Palmason F, Pedersen A & Salo T (2005) Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biol Biochem* 37, 2283-2296.
- De Graaff M-A, Six J & van Kessel C (2007) Elevated CO₂ increases nitrogen rhizodeposition and microbial immobilization of root-derived nitrogen. *New Phytol* 173, 778-786.

- Fahey GC & Hussein HS (1999) Forty years of forage quality research: Accomplishments and impact from an animal nutrition perspective. *Crop Science* 39, 4-12.
- Henriksen TM, Korsaaeth A, Breland TA, Stenberg B, Jensen LS, Bruun S, Guðmundsson J, Palmason F, Pedersen A & Salo TJ (2007) Stepwise chemical digestion, near-infrared spectroscopy or total N measurement to take account of decomposability of plant C and N in a mechanistic model. *Soil Biol Biochem* 39, 3115-3126.
- Heuwinkel H, Gutser R & Schmidhalter U (2005) Does N-cycling impair the N₂-fixing activity of mulched legume-grass in the field? In Sèbastia T, Helgadóttir A (eds) *Adaptation and management of forage legumes—strategies for improved reliability in mixed swards*. Proceedings of the 1st COST 852 Workshop, Ystad, Sweden 20–23 Sept 2004, pp 141–144.
- Høgh-Jensen H & Schjoerring JK (1997) Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability: N₂ fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency. *Plant Soil* 197, 187-199.
- Høgh-Jensen H & Schjoerring JK (2001) Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biol Biochem* 33, 439–448.
- Loges R, Kaske A, Ingwersen K & Taube F (2000) Methodological aspects of determining nitrogen fixation of different forage legumes. In: Alföldi T, Lockeretz W, Niggli U. *13th International IFOAM Scientific Conference—IFOAM 2000—The world grows organic*, 83. VDF Hochschulverlag AG, Zürich, p 92.
- McNeill AM, Zhu C & Fillery IRP (1997) Use of in situ-labelling to estimate the total below-ground nitrogen of pasture legumes in intact soil-plant systems. *Aust J Agric Res* 48, 295–304.
- Nesheim L & Øyen J (1994) Nitrogen fixation by red clover (*Trifolium pratense* L.) grown in mixtures with timothy (*Phleum pratense* L.) at different levels of nitrogen fertilization. *Acta Agric Scand* 44, 28-34.
- Rasmussen J, Eriksen J, Jensen ES, Esbensen KH & Høgh-Jensen H (2007) In situ carbon and nitrogen dynamics in ryegrass–clover mixtures: transfers, deposition and leaching. *Soil Biol Biochem* 39, 804–815.
- Rasmussen J, Gjettermann B, Eriksen J, Jensen ES & Høgh-Jensen H (2008) Fate of N-15 and C-14 from labeled plant material: recovery in perennial ryegrass-clover mixtures and in pore water of the sward. *Soil Biol Biochem* 40, 3031–3039.
- Shepherd KD, Vanlauwe B, Gachengo CN & Palm CA (2005) Decomposition and mineralization of organic residues predicted using near infrared spectroscopy. *Plant Soil* 277, 315-333.
- Stenberg B, Jensen LS, Nordkvist E, Breland TA, Pedersen A, Guðmundsson J, Bruun S, Salo T, Palmason F, Henriksen TM & Korsaaeth A (2004) Near infrared reflectance spectroscopy for quantification of crop residue, green manure and catch crop C and N fractions governing decomposition dynamics in soil. *J Near Infrared Spectrosc* 12, 331-346.

Populärvetenskapliga presentationer från projektet

- Dahlin AS & Stenberg M (2009) Hushållningssällskapens kompetensdagar, Uppsala 5 oktober 2009. Kvävefixering i grüngödselvallar vid olika putsnings/skördestrategi.
- Dahlin AS & Stenberg M (2009) Kvävefixering i grüngödselvallar och kväveöverföring från klöver till gräs. Rådgivarkurs, SJVs regi, Nässjö 22 januari 2009.
- Stenberg M & Dahlin AS (2006) Grüngödslingsvallens kvävefixering och kväveefterverkan – betydelsen av putsningar under växtsäsongen. Regional växtodlingskonferens, ÖSF, Kolmården, 2006.
- Dahlin AS, Stenberg M, Stenberg B & Marstorp H (2005) Grüngödslingsvallens kvävefixering och kväveefterverkan – betydelsen av putsningar under växtsäsongen. I: Ekologiskt lantbruk Konferens "Att navigera i en ny tid", 22-23 november 2005, Ultuna, Uppsala. CUL, SLU. p. 273.

Vetenskapliga publikationer från projektet

Stenberg M, Stenberg B & Dahlin AS Residual N effect is affected by green manure management. (submission 2011)

Dahlin AS, Stenberg M & Marstorp H Mulch N recycling to green manure leys during the growing season. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* (åter inskickad efter smärre revision augusti 2011)

Dahlin AS & Stenberg M (2010) Translocation of N from red clover to perennial ryegrass in mixed stands under different cutting strategies. *Europ. J. Agron.* 33:149-156
DOI:10.1016/j.eja.2010.04.006.

Dahlin AS & Stenberg M (2010) Cutting affects the amounts and allocation of symbiotically fixed N in green manure leys. *Plant Soil* 331, 401-412. DOI:10.1007/s11104-009-0261-1

Dahlin AS, Stenberg M & Lindström B (2009) Dinitrogen fixation in trimmed and intact leys and the fate of fixed N in above- and below-ground compartments. *Proceedings from the 16th Nitrogen Workshop, June 28 - July 1st 2009, Turin, Italy.*