

Rumslig variation i kvävefixering i åkerböna och klövervall inom enskilda fält och på gårdsnivå

Maria Stenberg och Sigrun Dahlin

Bakgrund

Baljväxter odlade som foder- och gröngödslingsvallar och som trindsäd till skörd utgör viktiga grödor i svenskt jordbruk för produktion av livsmedel och foder. Av dessa grödor utgör vallen den största arealen, 2015 var arealen vall och grönfoderväxter 1 137 900 ha av Sveriges totala areal åkermark som var 2 590 100 ha (Jordbruksverket, 2016) vilket sammanhänger med deras mångsidiga användning. En verkligt stor vinst – inte minst ekonomiskt - med baljväxtodling är dessas förmåga till symbiotisk kvävefixering. Genom den symbiotiska kvävefixeringen binds kvävgas (N_2) i atmosfären in i växten. På så sätt blir icke-reaktivt kväve tillgängligt för växten. Kvävefixeringen kan stå för mycket stora inflöden av kväve till jordbruket vilka kan uppgå till hundratals kg N per ha och år (Dahlin & Stenberg, 2009), men ofta är betydligt lägre.

Förutom att en vall kan ge ett högvärdigt foder och god avkastning även på jordar där produktion av andra grödor inte är konkurrenskraftiga, är den viktig i växtföljden. Vallen ger avbrott i växtföljder med spannmåls- och oljeväxtgrödor då de minskar trycket från växtföljdsburna sjukdomar. Vallen ger också möjligheter till bekämpning av perenna ogräs som missgynnas av slåtter. Vallar är också bra förfrukter i spannmålsodlingen genom sin gynnsamma effekt på mullhalten i marken (Poeplau *et al.*, 2015; Shrestha *et al.*, 2015). Dessutom ger vallen en förfruktseffekt genom att kväve och andra växtnäringsämnen som bundits in i biomassan kommer de efterföljande grödorna tillgodo när det organiska materialet bryts ner särskilt i vallar där baljväxter ingår (Berge *et al.*, 2016). Kväve är det växtnäringsämne som särskilt gynnar de andra grödorna i en växtföljd då baljväxter som rödklöver, vitklöver och lusern i vallarna binder in kväve från luften i plantan genom den symbiotiska kvävefixeringen.

Även om vallbaljväxterna är mycket betydelsefulla i svensk växtodling då arealen vall är så stor, så har också trindsäd som ärter och åkerböna stor betydelse. De är högaktuella som proteinfoder i och med krav på hög andel egenproducerat foder i ekologisk produktion och även i konventionell produktion i och med en ökad efterfrågan hos konsumenter på närproducerade livsmedel. Baljväxternas betydelse världen över visades av FN som utlyste 2016 som ”International year of pulses” (UN Resolution A/RES/68/231). FAO ansvarar för genomförandet och man trycker på att baljväxter har högt näringsvärde, är ekonomiskt tillgängliga för många och har hög säkerhet, de är nyttiga, främjar uthålligt jordbruk medverkar till minskad klimatpåverkan och klimatanpassning, samt gynnar biologisk mångfald (<http://www.fao.org/pulses-2016>).

Baljväxter är alltså totalt sett betydelsefulla i foderproduktionen och för markbördighet. Kvävefixeringen i dessa grödor är en viktig faktor för gårdens ekonomi eftersom den tillför kväve till odlingen. Om grödans fixering av kväve är liten på delar av fältet påverkar det avkastningen av baljväxtgrödor negativt. Baljväxtgrödor förväntas få sin kväveförsörjning via kvävefixering och annat kväve tillförs då normalt inte. Blir dessa områden stora så kan avkastningen påverkas mycket. Det är

därför av stor vikt att veta vad som begränsar fixeringen av kväve och hur man kan minska och åtgärda förhållanden för att uppnå full avkastning. Det har också betydelse för efterföljande grödor då fixerat kväve kan ge stora positiva efterverkans effekter i växtföljden genom det kväve som fixeras av baljväxterna (Berge *et al.*, 2016) men också genom gynnsamma effekter på andra faktorer som att mullhalten i marken ökar (Bolinder *et al.*, 2010; Kätterer *et al.*, 2012) och förbättra strukturen i marken (Heynes & Naidu, 1998). Kvävefixeringen påverkas av fysiska, kemiska och biologiska faktorer och vi har sett i ett fältförsök på en sandjord att variationen inom en försöksplats kan vara mycket stor (Dahlin & Stenberg, 2009).

För att optimera produktionen med avseende på avkastning, foderkvalitet och odlings säkerhet behöver vi bättre förstå variationen i kvävefixering inom och mellan fält, vilka faktorer som har störst betydelse och begränsar kvävefixeringen i fält. Det är på denna nivå lantbrukaren har möjlighet att med odlingsåtgärder minska begränsningarna. I denna rapport har vi sammanställt tillgänglig kunskap om hur kvävefixering påverkas och varierar i fält. Vi har fokuserat på följande frågeställningar:

- Faktorer som begränsar och påverkar kvävefixeringen, och grödans tillväxt och utvärdera dessas relativa betydelse för N-fixeringen.
- Koppling markfaktorer, kvävefixering och tillväxt.
- Rumslig variation i kvävefixeringen, i blandvallar, åkerböna och annan trindsäd relevant för odling i Sverige, inom ett enskilt fält.

Symbiotisk kvävefixering

Baljväxter och kvävefixerande bakterier har förmågan att i symbios fixera kväve. Inom svenskt lantbruk har bakterier av släktet *Rhizobium* störst betydelse genom att de bildar symbios med röd- och vitklöver, lusern, åkerböna och ärter. Symbiosen innebär att bakterier av stammar som är kompatibla med en specifik värdväxt etablerar sig i knölar på värdväxtens rötter. Bakterien får från värdens energirik kolföreningar vilka möjliggör en omfattande reduktion av atomärt kväve till ammoniak vilken (i ammoniumform) assimileras i glutamat och sedan omvandlas vidare till olika organiska kväveföreningar i bakterien eller värdväxten.

De uppmätta mängderna fixerat kväve i skottbiomassan har i fältförsök visats skilja mellan olika grödor (sammanställt av Giller, 2001). Från laboratoriestudier och kärnförsök vet vi också att en förekomst av kompatibla, fixerande bakterier och dessas liksom värdväxtens genetiskt betingade kapacitet att fixera kväve bestämmer den potentiella mängd kväve som kan fixeras (Giller, 2001). Detta gör att symbiosens effektivitet med avseende på kvävefixering varierar från ineffektiv (dvs. bakterieknölar utvecklas men ingen eller föga fixering sker) till mycket effektiv. En studie genomförd i norra Sverige och Norge visade att *Rhizobium*-samhället hade en stor genetisk variation men att de olika isolaten hade likvärdig och hög fixeringspotential vid symbios med rödklöver (Duodu *et al.*, 2007) vilket överensstämmer med erfarenheten att ympning generellt inte behövs vid odling av rödklöver. Däremot krävs och görs i Sverige i regel *Rhizobium*-ympning vid sådd av lusern, och matchningen mellan lusernsort och *Rhizobium*-stam har därvid visat sig signifikant påverka lusernens etablering och tillväxt (Axelson & Jonsson, 2014).

Kvävefixeringen påverkas även av en mängd miljöfaktorer. Alltför hög eller låg temperatur och vattentillgång, låg mullhalt och katjonbyteskapacitet, lågt pH och begränsad tillgång till övriga växtnärsämnen samt förekomsten av toxiska föreningar kan begränsa både antalet *Rhizobium*-

bakterier i marken och fixeringsaktiviteten och styr den faktiska mängd kväve som fixeras (t.ex. Giller, 2001, se mer nedan). Samtidig symbios med arbuskulära mykorrhizasvampar (Edwards *et al.*, 1998; Söderberg *et al.*, 2002; Scheublin & van der Heijden, 2006; Ide Franzini *et al.*, 2010; Tajini *et al.*, 2012) och andra mikroorganismer i rhizosfären (t.ex. Oliveira *et al.*, 1997; Marek-Kozaczuk *et al.*, 2000; Figueiredo *et al.*, 2008; Mishra *et al.*, 2009; Martinez-Hidalgo *et al.*, 2014; Le *et al.*, 2016) kan öka kvävefixeringen genom direkt samspel med *Rhizobium*-bakterierna eller genom effekter på växtväxten, men sådana trepartssymbioser kan också minska kvävefixeringen (Söderberg *et al.*, 2002; Scheublin & van der Heijden, 2006; Ide Franzini *et al.*, 2010). Sammantaget har dessa faktorer en reell betydelse; inom ett mindre fält uppmätte vi så olika kvävefixering som motsvarande 80-480 resp. 340-965 kg N/ha under två olika säsonger. Dock fokuserade vår studie på beståndssammansättningen och skördefrekvensens inverkan på kvävefixeringens omfattning och inte orsakerna bakom variationen inom behandlingarna. Vi kan därför inte uttala oss om de bakomliggande faktorerna. Lovande för våra möjligheter att optimera kvävefixeringen är dock att ett antal av de i litteraturen beskrivna påverkansfaktorerna kan influeras genom jordbrukets bruksmetoder.

Åkerbönan får större delen av sitt kväve via kvävefixering (Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2009) och kvävefixeringen blir då en faktor av väldigt stor betydelse för avkastningen. Åkerbönan är också den trindsädesgröda som gett störst kväveöverskott i utländska studier (t.ex. Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2009). Svenska data saknas dock. Vid beräkning av kvävefixeringen genom metoder som bygger på fröskörd (se t.ex. Høgh-Jensen *et al.*, 2004) underskattas troligen kvävefixeringen och åtföljande utlakningsrisk liksom beräknad kväveefterverkan i de fall där sjukdomsangrepp (t ex chokladfläcksjuka och bönläcksjuka) tidigt under säsongen orsakar stort bladfall och avkastningen därmed blir låg.

Produktionssystem med vallar har generellt högre mullhalt än system utan vallar, vilket i allmänhet ger högre kväveleverande förmåga, bättre markstruktur, vattenhållande förmåga och växtnäringshållande förmåga (katjon-byteskapacitet), en större mikrobiell biomassa och generell aktivitet, samtliga viktiga faktorer som bestämmer markbördigheten. Förutom vallarnas förmåga att fixera N bidrar dessa potentialer till att de anläggs även i produktionssystem utan djur, t ex som grön gödslingsvallar eller för produktion av biogasråvara. Det senare är ett område under utveckling där vallens höga produktion av lättomsättbart organiskt material förutses ge bidrag till förnybar energi. Rötresten kan också se som ett högkvalitativt, förnybart gödselmedel.

Vad begränsar fixering av kväve?

Både gröda, mikroorganismer och det symbiotiska samspelet påverkas av klimat och markfaktorer. Påverkan på kvävefixeringen och gröda kan alltså vara både direkt och indirekt genom att förhållandena för grödan är mer eller mindre gynnsamma och innebära stress för grödan.

Fysikaliska och kemiska faktorer i växtens miljö som begränsar kvävefixering

Klimatet på växtplatsen avgör vilka arter som kan odlas. Höga marktemperaturer kan hindra knölbildning. Vissa arter av de kvävefixerande bakterierna kan vara känsliga och dö av höga temperaturer. Låga temperaturer minskar hastigheten i grödornas tillväxt och även i knölbildningen. Båda effekterna av låg temperatur ger minskad mängd fixerat kväve

Torka kan orsaka en drastisk minskning av antalet frilevande mikroorganismer i marken, inklusive kvävefixerande bakterier, även om vissa släkten är mindre känsliga för uttorkning än andra (Giller,

2001). Även olika växtarter är olika känsliga för torka. Kvävefixeringen är mer känslig för torkstress än många andra processer i växten. Djuprotade växtarter är mindre känsliga för torka än arter med grunda rotsystem och det kan styra vilka arter som kan odlas på en plats om risken för torka är större än på andra platser. Höga salthalter i marken kan också påverka infektionen av rothår, knölbildning och kvävefixering. Medan perioder av torkstress är tidsbegränsade och bakterierna bara behöver överleva tills torkan är över så innebär höga salthalter en mer permanent påverkan på grödan. Det finns även studier som visar att bakterierna är mindre känsliga för torka än växten. Det är dock många faktorer som påverkar processer knutna till kvävefixering och som påverkas av vattenförhållanden i marken och därmed kvävefixeringen i sig både direkt och indirekt (Sadowsky, 2005).

I vattenmättad mark är det främst bristen på syre som kan påverka både organismer, knölbildning och grödans tillväxt negativt och kan orsaka stora förluster i odlingen. Vissa organismer klarar syrefria miljöer men det finns också studier som visar på att kvävefixering är mer känslig för syrebrist än vad själva grödans tillväxt är. Under syrefria förhållanden kan också järn och mangan frigöras och de är toxiska för många organismer. Kvävefixerande bakterier är känsliga för låga pH-värden i marken. Det är inte främst surhetsgraden i marken som påverkar organismerna negativt utan de ämnen som frigörs vid låga pH eller brist på ämnen som finns i små mängder i sura jordar. Aluminium och mangan är toxiska både för mikroorganismer och för växter och knölbildningen påverkas om mängderna i marken blir för stora. Likaså är t.ex. kalciumbrist negativt för många växter och mikroorganismer.

Växtnäring

Fosfor och kalium är ämnen viktiga för växten och som behöver vara tillgängliga i större mängder. Fosfor är även viktigt för fixeringen av kväve. En växt som är mer djuprotad och har ett mer utvecklat rotsystem har större möjligheter att ta upp tillgängligt fosfor än en växt med svagare rotsystem. Även kalcium och magnesium är viktiga för växten och för fixering av kväve.

Många mikronäringsämnen är nödvändiga för att den symbiotiska kvävefixeringen. Knölbildning kan påverkas genom att den sker långsammare och i mindre utsträckning (Giller, 2001). Borbrist ger mindre och färre knölar. Det innebär mindre mängder fixerat kväve och grödor med försämrad tillväxt. Molybden är en beståndsdel i enzymen nitratreduktas och nitrogenas vilka båda är viktiga för växters upptag av kväve och symptomen blir samma som vid kvävebrist. Molybden är också viktigt för fixering av kväve. Andra mikronäringsämnen som bor, järn, mangan och zink är också viktiga. Vid höga pH-värden i marken kan brist på dessa uppstå. Järn och mangan kan frigöras från marken i större mängder om den blir vattenmättad och då kan istället halterna bli så höga att de blir toxiska. Vid låga pH-värden frigörs aluminium och även järn och mangan i halter vilka kan vara toxiska för växt och mikroorganismer så att fixeringen av kväve påverkas.

Mängden tillgängligt nitratkväve är en faktor, ju mer tillgängligt nitratkväve desto mindre kväve fixeras då växten har tillgång till kväve utan fixering (Giller, 2001). Stora mängder nitratkväve i marken minskar bildningen av knölar (Giller, 2001). En gröda som tillförts kväve i mineralform behöver inte lika mycket kväve från fixering. Tillgängligheten av nitratkväve beror i sig på många markfaktorer. Mineraliseringen av kväve i marken beror av bland annat vattenhalt, temperatur, jordart, markstruktur och kvalitet på omsättbart organiskt material i marken. Även om tillgång till kväve i marken gynnar en kvävefixerande plantas tillväxt under den tidiga fasen av utveckling och tillväxt (Androssoff *et al.*, 1995) så kan den totala mängden fixerat kväve minska vid tillgång på mineralkväve för grödan.

Sjukdomar

Baljväxter är känsliga för markburna patogener. Både ettåriga och perenna baljväxter kan drabbas av rottröta. I blandvallar med perenna klöverarter blir det ett problem när klövern drabbas av markburna sjukdomar och minskar i andel i blandvallen. Rödklöverplantorna kan vara infekterade redan det första vallåret och minskar ofta i andel med åren för att sedan vara nästan helt borta ur vallen tredje vallåret (se t.ex. Wallenhammar *et al.*, 2008). En stabil klöverhalt är viktig för kvaliteten i den skördade biomassan inte skall variera för mycket inom fältet. Dessutom är klöverandelen viktig för försörjningen av kväve i vallen. Vid planering av gödsling tar man hänsyn till klöverandelen (Jordbruksverket, 2016). Är andelen klöver mindre än förväntat och så blir avkastning och proteinhalt lägre än vad som är önskvärt. Om klöverhalten varierar inom fältet blir det en faktor som man behöver ta hänsyn till vid gödsling. Stoltz & Wallenhammar (2012) visade att högre halter av vissa mikronäringsämnen (zink och mangan) i klöverrötterna minskade angrepp av rottröta. Metoder för att bestämma marksmitta av olika patogener snabbare och enklare är under utveckling även för sjukdomar som drabbar rödklöver (Almquist, 2016). Att kartera sin mark för markburna patogen kan vara ett verktyg att förbättra potentialen i baljväxtvallarna.

Rumslig variation

Idag är precisionsodling ett vedertaget begrepp världen över för att hantera variationer i markförhållanden inom fält och hur åtgärder i odlingen skall anpassas för att tillgodose grödans behov av till exempel växtnäring. Det är många markegenskaper som kan variera inom ett fält. Jordarten kan variera mycket inom ett fält. Topografin kan indikera skillnader, är det höjdskillnader är det oftast skillnader i jordart och framför allt lerhalt men det kan även vara skillnader i geologiskt ursprung. Jordart har betydelse för markstruktur och vattenhållande förmåga vilket i sig påverkar möjligt rotdjup för en gröda och hur vattentillgången under växtsäsongen kommer att vara. Skillnader i geologiskt ursprung spelar roll för jordarten, lermineralernas egenskaper och även tillgång till nödvändiga växtnäringssämnen. Mullhalten och kvaliteten på det organiska materialet varierar också inom fältet beroende av jordart, topografi och tidigare odling. Flera av dessa faktorer samspelar dessutom och påverkar grödans möjligheter att växa, hur mycket kväve som mineraliseras från marken och tillgängligheten för olika växtnäringssämnen.

Tillförsel av kväve med en baljväxtgröda som grüngödsling kan uppgå till så mycket som ca. 1000 kg N/ha, men är oftast betydligt lägre (se t.ex. Dahlin & Stenberg, 2009). Endast en mindre del av detta N, ca 20-40 % finns sedan tillgängligt till efterföljande grödor (se t.ex. Lindén, 1996). Risken för utlakning av N från odlingssystem med kvävefixerande grödor kan alltså vara betydande (Lindén & Wallgren, 1993; Torstensson *et al.*, 2006; Hauggaard-Nielsen *et al.*, 2009). På försöksgården Logården visade mätningar av kväveutlakning 2004-2009 att odlingssystemen med åkerböna och grüngödslingvallar medförde större kväveutlakning i medel än ett system med endast spannmålsgrödor (Stenberg *et al.*, 2012). De flesta studier om kväveutlakning redovisar nitratkväveutlakningen eller totalkväveutlakningen. Utlakning av organiskt kväve, speciellt från vallar, har internationellt fått uppmärksamhet under senare år (Bhogal *et al.*, 2000; Murphy *et al.*, 2000; Siemens & Kaupenjohann, 2002; Velthof *et al.*, 2005; Vinther *et al.*, 2006). Det organiska kvävet i dräneringsvattnet består till största delen av lättlösliga, lättomsättbara organiska föreningar som alltså snabbt blir reaktivt kväve. Det är alltså av stor vikt att man eftersträvar att det kväve som frigörs i marken efter en baljväxtgröda tas upp av andra grödor i växtföljden i stället för att riskera att det lakas ut. Kännedom om hur markegenskaper varierar inom fältet och var det kan finnas problem som missgynnar en gröda har betydelse för att minska utlakningsrisken. Genom att använda precisionsodlingsteknik vid gödsling och andra åtgärder både i

baljväxterna och i andra grödor kan man öka möjligheterna till ett bra utnyttjande av kväve. CropSAT och sensorer för att följa upptag av kväve är ett sätt att styra kvävegödslingen beroende på hur tillgången på kväve i marken varierar.

I vallar med en blandning av gräsarter och vallbaljväxter som vitklöver, rödklöver eller lusern, varierar ofta baljväxthalten. Vallar etableras med en viss andel vallbaljväxter men hur stor andel det i själva verket kommer att vara i en vall beror av hur etableringen lyckas under insåningsåret. Andra faktorer som påverkar klöverhalten i en vall är övervintring, konkurrens från andra arter i vallblandningen, trafik i samband med gödsling och skörd som kan ge markpackning, markförhållanden, faktorer som påverkar kvävefixeringen nämnda tidigare och sjukdomar.

När inomfältvariationens betydelse för kvävefixeringen har studerats har dock samband mellan kvävefixering och nitratkväve inte alltid kunnat påvisas tydligt som en faktor som har varit viktig för storleken på fixeringen. I en finsk studie (Nykänen *et al.*, 2008) undersöktes den rumsliga variationen i blandvall med rödklöver på två lokaler. Spridningen i kvävefixering var stor och kunde inom ett fält variera mellan motsvarande 20 och 250 kg ha⁻¹, vilken i enligt Nykänens modell främst var länkad till markkoncentrationerna av zink, mangan och molybden, men förvånansvärt nog inte mot kväve. Nykänen framhåller dock att resultatet kan vara en artefakt beroende av den statistiska metod som använts.

Krijger (2013) intervjuade några lantbrukare om inställningen till fasta körspår (CTF – Controlled Traffic Farming) och där framkom att man ser stora problem med att vallar blir sönderkörda i samband med gödsling och skörd vilket gett utvintring av framförallt baljväxterna i vallarna. Utvintrar vallarna blir det problem med skördad mängd och kvalitet och särskilt på de ekologiska gårdarna ökar behovet av kvävegödsling. Dessa lantbrukare såg fasta körspår som en möjlighet att minska skadorna på

I Danmark konstaterade Hauggaard-Nielsen *et al.* (2010) att skörden av ärter och fixeringen av kväve varierade mycket när inom ett 10 ha stort fält. Studien gjordes med så kallad ”grid sampling”, fältet delades in i mindre rutor i vilka man utförde mätningarna. De fann inga samband med de biotiska och abiotiska markegenskaper de också mätte. En slutsats de drog var att en orsak till att de inte kunde se några samband eller förklaringar till variationen, var att fixeringen av kväve beror på så många olika faktorer.

Androsoff *et al.* (1995) studerade hur avkastning och kvävefixering i ärter (*Pisum sativum* L.) varierade inom ett fält. De konstaterade att kvävefixeringen i ärter varierade mycket på försöksplatsen och att processen kan äga rum under många olika markförhållanden. De fann dock inga klara samband med någon enskild faktor. Topografin hade betydelse för vattenförhållandena som i sin tur skulle kunna ha betydelse för aktiviteten.

Lee *et al.*, (2011) kvantifierade hur avkastningen hos kikärt varierade inom ett fält där vattenmättnad uppstod periodvis. De konstaterade att kvävefixeringen påverkades negativt under perioder med vattenmättnad men att det inte gick att prediktera kvävefixeringen med någon enskild markfaktor utan det troligen var indirekta effekter huvudsakligen. Variationen i tillgången på mineralkväve var den faktor som påverkade kvävefixering på fältnivå.

”Precisionsodling i vall” har varit ett begrepp de senaste 15 åren i Sverige och flera studier har utförts för att ta fram underlag för att kunna tillämpa teknik och metoder som används vid precisionsodling av vall. För spannmålsgrödor har utvecklingen kommit långt och idag finns kalibreringar för mätningar

av ljuset reflektans, t.ex. Yara N-sensor, för innehåll av biomassa och kväve i ovanjordiska delar av grödan för de flesta spannmåls slag i Sverige (www.precisionsskolan.se). Nyberg et al. (2004) utvärderade ett verktyg för bildanalys av blandvallar för att bestämma andel klöver. Verktöget fungerade inte för högvuxna rödklövervallar men fungerade bättre i lågvuxna vitklövervallar.

För spannmål finns idag kalibreringar för olika sensorer så att man kan bedöma en grödas upptag av kväve vid ett visst tillfälle och sedan kunna beräkna kvävebehovet vid kompletteringsgödslingar. Det finns färre studier där man studerat hur stor variation i vall är. Bailey *et al.* (2001) mätte skördevariationen och upptag av kväve i en gödslad gräsvall och konstaterade att det var stora variationer i biomassaskörd och i upptag av kväve. Variationen kunde inte förklaras med faktorer bestämda med traditionell markkartering. Författarna lyfter fram möjligheterna att förbättra kvävehushållningen i vall genom att använda kartor över biomassa och kväveskörd i vallarna som underlag för att gödsla vallen efter behov.

Under de senaste åren har flera web-baserade verktyg för att hantera inomfältvariation i åkermark utvecklats i Sverige. CropSAT (www.cropsat.se) blev fritt tillgängligt under 2015 (Söderström *et al.*, 2015). I CropSAT är ett satellitbaserat underlag för kompletteringsgödsling i höstvetet baserat på att biomassa och kväveupptag kan beskrivas med spektrala index. I CropSAT finns satellitbilder över södra Sverige för perioden maj-juni 2015-2016. Ett annat nytt verktyg är den digitala åkermarkskartan - markdata.se (Söderström & Piikki, 2016). Där finns kartlager över Götaland och Svealand relevanta för åtgärder i lantbruket. Matjordens lerhalt och sandhalt beskrivs med en upplösning på 50 * 50 m och man tänker sig att verktöget kan användas för att göra styrfiler för bland annat kalkning.

Diskussion och slutsatser

Det finns få studier som belyser variationen i faktisk kvävefixering för våra baljväxtgrödor och under våra förhållanden, särskilt inte studier där man samtidigt undersökt vilka faktorer som i praktiken har begränsat fixeringen mest. Kvävefixering i vallbaljväxter och trindsäd påverkas av flera olika faktorer och ofta av flera faktorer i kombination. I de studier som publicerats kan sällan enskilda faktorer pekas ut som den som styr hur stor fixeringen blir. För att hantera inomfältvariationen i ett fält behöver fler verktyg utvecklas. Idag kan man via verktyg som CropSAT få en bild över biomassa och kväveinnehåll men vi saknar kalibreringar som ger en kvantifiering. Om kalibreringar för biomassa och kväveupptag i vall och trindsäd kan tas fram så ger det stora möjligheter att bättre kunna anpassa till exempel skördetidpunkter och kvävegödsling i vall. När det gäller kväveförlusterna efter kväverika förfrukter som baljväxtvallar och trindsäd kan kunskap om hur biomassan varierat under säsong indikera variationer i efterverkan beroende av grödan. I en blandvall kompliceras dessutom bilden av att halten baljväxter styr kvalitet och möjlighet till bildanalys och kalibrering. Med hjälp av CropSAT och att gå ut i fältet har möjligheterna ökat att identifiera områden i fälten där grödans tillväxt är bättre eller sämre. Att hitta dessa områden och med hjälp av markkartering av växtnäring och markburna patogener, graderingar av baljväxtinnehåll, vattenförhållanden, identifiera områden där förbättring av baljväxternas potential behövs genom till exempel markförbättrande åtgärder eller förändrad odlingsteknik. Det finns ett behov att ta fram underlag och verktyg för att hantera inomfältvariation i grovfoderproduktion (vallar med baljväxter) för att nå önskad skörd och foderkvalitet. Vallbaljväxterna är mycket viktiga för ekonomin i produktionen. Trindsäd till mogen skörd stor potential i djurproduktionen och åtgärder för att öka säkerheten i avkastning ökar ekonomin i odlingen. Under senare år har även trindsäd för humankonsumtion lyfts som ett område med stor potential. Vi behöver

mer kunskap om hur markegenskaper påverkar kvävefixering och kvävefixerande grödor under våra förhållanden så att de har förutsättningar att vara odlingssäkra och ge god ekonomi.

Referenser

- Almquist C. 2016. Monitoring important soil-borne plant pathogens in Swedish crop production using real-time PCR. Diss. Uppsala, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 2016:26.
- Androsoff GL, van Kessel C, Pennock DJ. 1995. Landscape-scale estimates of dinitrogen fixation by *Pisum sativum* by nitrogen-15 natural abundance and enriched isotope dilution. *Biol Fertil Soils* 20:33-40.
- Axelsson U, Jonsson A. 2014. Förbättrad etablering av lusern – en förstudie. Slutrapport SLF Projekt H1160166.
- Bailey JS, Wang K, Jordan C, Higgins A. 2001. Use of precision agriculture technology to investigate spatial variability in nitrogen yields in cut grassland. *Chemosphere* 42:131-140.
- Berge HFM ten, Pikula D, Goedhart PW, Schröder JJ. 2016. Apparent nitrogen fertilizer replacement value of grass-clover leys and of farmyard manure in an arable rotation. Part I: grass-clover leys. *Soil Use Management* 32:9-19. doi:10.1111/sum.12246.
- Bhogal A, Murphy DV, Fortune S, Shepherd MA, Hatch DJ, Jarvis SC, Gaunt JL, Goulding KWT. 2000. Distribution of nitrogen pools in the soil profile of undisturbed and reseeded grassland. *Biol Fertil Soils* 30:356-362.
- Bolinder MA, Kätterer T, Andrén O, Ericson L, Parent LE, Kirchmann H. 2010. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63–64°N). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 138:335–342.
- Carlsson G, Huss Danell K. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant Soil* 253:353-372.
- Dahlin AS, Stenberg M. 2010. Cutting regime affects the amount and allocation of symbiotically fixed N in green manure leys. *Plant Soil* 331:401-412.
- Duodu S, Carlsson G, Huss-Danell K, Svenning MM. 2007. Large genotypic variation but small variation in N₂ fixation among rhizobia nodulating red clover in soils of northern Scandinavia. *J Appl Microbiol* 102:1625-1635.
- Edwards SG, Young JPW, Fitter AH. 1998. Interactions between *Pseudomonas fluorescens* biocontrol agents and *Glomus mosseae*, an arbuscular mycorrhizal fungus, within the rhizosphere. *Fems Microbiology Letters* 166:297-303.
- Figueiredo MVB, Burity HA, Martinez CR, Chanway CP. 2008. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. *Applied Soil Ecology* 40:182-188.
- Gagnon B, Bélanger G, Nolin MC, Simard RR. 2003. Relationships between soil cations and plant characteristics based on spatial variability in a forage field. *Can J Plant Sci* 83:343-350.
- Giller KE. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems (2nd edition). ISBN 0851994172. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Hauggaard-Nielsen H, Holdensen L., Wulfsohn D, Jensen ES. 2010. Spatial variation of N₂-fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the 15N natural abundance method. *Plant Soil* 327:167-184.
- Hauggaard-Nielsen H, Mundus S, Jensen ES. 2009. Nitrogen dynamics following grain legumes and subsequent catch crops and the effects on succeeding cereal crops. *Nutr Cycl Agroecosyst* 84:281-291.
- Høgh-Jensen H, Loges R, Jørgensen FV, Vinther FP, Steen ES. 2004. An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *Agr Syst* 82:181-194.

- Ide Franzini V, Azcon R, Latanze Mendes F & Aroca R (2010) Interactions between *Glomus* species and *Rhizobium* strains affect the nutritional physiology of drought-stressed legume hosts. *Journal of Plant Physiology* 167:614-619.
- Jordbruksverket. 2016. Jordbruksmarkens användning 2015. Slutlig statistik. Sveriges Officiella statistik. Statistiska meddelanden. JO 10 SM 1601.
- Krijger A-K. 2013. Kontrollerad trafik (CTF) – en förstudie. SLU, Skara. Precisionsodling Sverige. Teknisk rapport nr 29. ISSN 1652-2826.
- Kätterer T, Bolinder MA, Berglund K, Kirchmann H. 2012. Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 62:181-198. DOI:10.1080/09064702.2013.779316.
- Le XH, Franco CMM, Ballard RA, Drew EA. 2016. Isolation and characterisation of endophytic actinobacteria and their effect on the early growth and nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Plant and Soil* 405:13-24.
- Lee J, Six J, van Kessel C. 2011. Dinitrogen fixation by winter chickpea across scales in waterlogged soil in a Mediterranean climate. *J Agron Crop Sci* 197:135-145.
- Lindén B, Wallgren B. 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. *Swed J Agr Res* 23:77-89.
- Marek-Kozaczuk M, Kopcinska J, Lotocka B, Golinowski W, Skorupska A. 2000. Infection of clover by plant growth promoting *Pseudomonas fluorescens* strain 267 and *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* studied by mTn5-gusA. *Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology* 78: 1-11.
- Martinez-Hidalgo P, Galindo-Villardón P, Igual JM, Martínez-Molina E. 2014. Micromonospora from nitrogen fixing nodules of alfalfa (*Medicago sativa* L.). A new promising Plant Probiotic Bacteria. *Scientific Reports* 4:10.
- Mishra PK, Mishra S, Selvakumar G, Kundu S, Shankar Gupta H. 2009. Enhanced soybean (*Glycine max* L.) plant growth and nodulation by *Bradyrhizobium japonicum*-SB1 in presence of *Bacillus thuringiensis*-KR1. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 59:189-196.
- Murphy DV, Macdonald AJ, Stockdale EA, Goulding KWT, Fortune S, Gaunt JL, Poulton PR, Wakefield JA, Webster CP, Wilmer WS. 2000. Soluble organic nitrogen in agricultural soils. *Biol Fertil Soils* 30:374-387.
- Nyberg A, Börjesson T, Gustavsson A-M. 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar. Utvärdering av TrefoilAnalysis. SLU, Skara. Precisionsodling Sverige Teknisk rapport nr 1.
- Nykänen A, Jauhiainen, L, Kempainen J, Lindström K. 2008. Field-scale spatial variation in yields and nitrogen fixation of clover-grass leys and in soil nutrients. *Agr Food Sci* 17:376-393.
- Oliveira A, Ferreira EM, Pampulha ME. 1997. Nitrogen fixation, nodulation and yield of clover plants co-inoculated with root-colonizing bacteria. *Symbiosis* 23:35-42.
- Poepflau C, Bolinder MA, Eriksson J, Lundblad M, Kätterer T. 2015. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences*, 12:3241-3251. doi:10.5194/bg-12-3241-2015.
- Sadowsky MJ. 2005. Soil stress factors influencing symbiotic nitrogen fixation. In: Werner D, Newton WE (Eds.). *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment*. Springer. Dordrecht. The Netherlands.
- Scheublin TR, van der Heijden MGA. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi colonize nonfixing root nodules of several legume species. *New Phytologist* 172:732-738.
- Shrestha BM, Singh, BR, Forte C, Certini G. 2015. Long-term effects of tillage, nutrient application and crop rotation on soil organic matter quality assessed by NMR spectroscopy. *Soil Use Management* 31:358-366.

- Siemens J, Kaupenjohann M. 2002. Contribution of dissolved organic nitrogen to N leaching from four German agricultural soils. *J Plant Nutr Soil Sci.* 165:675-681.
- Stenberg, M., Ulén, B., Söderström, M., Roland, B., Delin, K., Helander, C.-A. 2012. Tile drain losses of nitrogen and phosphorus from fields under integrated and organic crop rotations. A four-year study on a clay soil in southwest Sweden. *Science of the Total Environment* 434, 79-89. DOI:10.1016/j.scitotenv.2011.12.039.
- Stoltz E, Wallenhammar AC. 2012. Micronutrients reduce root rot in red clover (*Trifolium pratense* L.). *Journal of Plant Diseases and Protection* 119:92-99.
- Söderberg KH, Olsson PA, Baath E. 2002. Structure and activity of the bacterial community in the rhizosphere of different plant species and the effect of arbuscular mycorrhizal colonisation. *Fems Microbiology Ecology* 40:223-231.
- Söderström M, Piikki K. 2016. Digitala åkermarkskartan detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord. SLU, Skara. Precisionsodling Sverige. Teknisk rapport nr 37.
- Söderström M, Stadig H, Nissen K, Piikki K. 2015. CropSAT: kväverekommendationer och grödstatus-kartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer. SLU, Skara. Precisionsodling Sverige. Teknisk rapport nr 36.
- Tajini F, Trabelsi M, Drevon JJ. 2012. Combined inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences* 19:157-163.
- Torstensson G, Aronsson H, Bergström L. 2006. Nutrient use efficiencies of organic and conventional cropping systems in Sweden. *Agron J* 98:603-615.
- Velthof GL, Assinck FBT, de Vos JA, Dolfing J, Heinen M, Smit A, van Beek CL, van der Salm C, van Groenigen JW, Zwart KB. 2005. Denitrification and nitrate leaching in Dutch agricultural soils in relation to the Water Framework Directive. In: N management in agroecosystems in relation to the Water Framework Directive, Book of abstracts. 14 N-Workshop, 24-26 Oct., Maastricht, NL.
- Vinther FP, Hansen EM, Eriksen J. 2006. Leaching of soil organic carbon and nitrogen in sandy soils after cultivating grass-clover swards. *Biol Fertil Soils* 43:12-19.
- Wallenhammar A-C, Nilsson-Linde N, Jansson J, Stoltz E, L-Bäckström G. 2008. Influence of root rot on the sustainability of grass/legume leys in Sweden. In: Grassland Science in Europe, vol 13, Biodiversity and animal feed – future challenges for grassland production. Proceedings of the 22nd General Meeting of the European Grassland Federation, Uppsala, Sweden, 9-12 June, 2008.

Slutsatser och rekommendationer

Hur mycket varierar den symbiotiska fixeringen av kväve i baljväxter inom ett fält? Mängden fixerat kväve i en gröda kan uppgå till så mycket som 1000 kg N per ha och den varierar mycket inom ett fält. Det är många olika faktorer som styr hur mycket kväve som fixeras då både plantan och mikroorganismerna påverkas. Därför är det få studier som visar på hur mycket inverkan en enskild faktor har på fixeringen. Slåttervallar är den i särklass största grödan i Sverige. I en vall ger blandningen av gräs- och klöverarter svårigheter att bestämma biomassa och kväveinnehåll med indirekta metoder som bildanalys och reflektansmätningar. Arealen av trindsäd är betydligt mindre än för vall och få studier i hur fixeringen av kväve varierar inom ett fält. Mer forskning och utveckling behövs i både vall och trindsäd för att vi skall få verktyg för hantering av inomfältsvariation i dessa grödor.