

Renässans för växtanalys –möjlighet för ökad precision i kväveanvändningen i grönsaksproduktion

Bakgrund och syfte

Miljöpåverkan från grönsaksodlingen kan lokalt vara stor. Många av kulturerna omsätter mycket växtnäring och kan kvarlämna stora mängder skörderester. Skörderester och restkväve kan belasta vattendrag och grundvatten med kväve och momentant också fosfor. Det är därför viktigt att anpassa växtnäringstillförseln så nära behovet som möjligt. Utveckling av databaserade rådgivningssystem, såsom EurotateN eller N-Expert pågår för att bättre kunna anpassa tillförseln av växtnäring, främst kväve, efter de aktuella förhållandena på växtplatsen än vad som idag är möjligt med hjälp av traditionella tabeller. Med minskande marginaler mellan behov och tillförsel, kan det komma att finnas behov av någon form av uppföljning av grödans näringsstatus. I de fall man använder sig av organiska gödselmedel, som vid ekologisk odling eller vid god tillgång till stallgödsel, är tillförseln ännu svårare att styra och behovet av uppföljning av den använda gödslingsstrategin än mer påkallat.

Växtanalys utgör en möjlighet till uppföljning av växtnäringens statusen i grödan. Problemet med växtanalys har framför allt varit att finna referensvärden, och närmare bestämt till vilka delar av plantan som referensvärdena ska knytas. Dessutom påverkas växtnäringens innehåll av grödans utvecklingsstadium. Ny kunskap visar på nya möjligheter med att använda växtanalys. Vetenskapliga studier på detta område visar att förändringar i växtens kväveinnehåll hänger samman med utvecklingsförloppet. Detta skulle ge möjlighet att bestämma ett kontinuerligt samband för hur kväveinnehåll förändras under tillväxtperioden utan att empiriskt behöva göra många upprepade bestämningar av grödans kväveinnehåll. Det finns nämligen flera svårigheter med sådana kvävebestämningar såsom exempelvis temporära fluktuationer av växttillgängligt kväve.

Kvävehalten i växter påverkas dels av tillgången på kväve men minskar också ju äldre plantan blir även vid tillräcklig kvävetillförsel (ontogenetisk drift). Det beror främst på att andelen stödjevävnad med lägre kvävehalt ökar med tiden. Referensvärden för den kritiska kvävekoncentrationen måste därför minska kontinuerligt under tillväxtförloppet. Mätning av kvävehalten i enskilda vävnader är inte praktiskt genomförbart. Däremot finns det i litteraturen teorier om att andra egenskaper i växten speglar minskningen i kvävehalt. Man mäter med andra ord något som är enklare att bestämma men som speglar andra egenskaper som är svårare att mäta, så kallade allometriska mått. Bland annat har förhållandet mellan utveckling av bladyta och biomassa föreslagits som allometriskt mått för minskningen av en grödas kvävehalt. Olika studier har visat, för ett flertal grödor, att mängden totalkväve beräknat per bladyta håller sig konstant med tiden. Om halten är konstant skulle det innebära att kvävekoncentrationen på viktbasis skulle minska i samma takt som kvoten mellan bladyta och totalvikt (bladytekvot, leaf area ratio, LAR) eftersom mängden totalkväve beräknat per bladyta är kvoten mellan kvävekoncentrationen på viktbasis och bladytekvoten. Från detta allometriska mått skulle det vara möjligt att uppskatta minskningen i kvävehalt för hela plantan.

Det finns också teorier som visar att de blad som finns överst i beståndet håller samma kvävehalt räknat per bladyta. Detta beror på att kvävehalt och bladtjocklek anpassar sig till ljusintensiteten. Om dessa teorier stämmer med verkligheten skulle man kunna använda dessa blad till växtanalys. Fördelen, förutom att det är smidigare att samla in enskilda blad i stället för hela plantor, är att ett och samma referensvärde skulle gälla under hela tillväxtperioden.

Syftet med denna studie var att se om en grödas kväveinnehåll kan relateras till utvecklingsförloppet med avseende på biomassa, bladyta och ljusstillgång. Försöken utfördes i klimatkammare och under noga kontrollerade näringsförhållanden för att minimera problem

med ojämn näringstillförsel. Vitkål valdes som modellgröda på grund av dess höga kvävebehov. Hypotesen var dels att det finns ett nära samband mellan bladytekvoten och kvävekonzentrationen på viktbasis och dels att mängden kväve beräknat per bladyta för de blad som exponeras för full ljusinstrålning håller sig konstant med tiden.

Material och metoder

Det är svårt att bestämma samband mellan kvävehalt och andra egenskaper hos en gröda då kvävehalten ofta fluktuerar på grund av variationer i kvävetillgång. Mängden växttillgängligt kväve kommer att variera beroende på fördelningen av tillförseln under odlingsperioden. Det gör att de samband man ska studera påverkas av hur näringen tillförs. Variationer i andra tillväxtfaktorer kommer att ha liknande påverkan. Därför har denna studie gjorts i klimatkammare med konstant ljus, temperatur och luftfuktighet. För att få så bra kontroll som möjligt redan för de minsta plantorna odlades de i odlingsenheter i Biotronen, Alnarp, enligt den metod som utvecklats av Torsten Ingestad. Metoden möjliggör en direkt koppling mellan tillväxt och näringsupptag. Näringslösningens ledningstal pendlar kring ett mycket lågt värde, 50 S cm^{-1} , med hjälp av automatiserad reglerteknik. Det innebär dels att fluktuationer, som kan ge variationer i den interna koncentrationen i växten, undviks, dels att det inte finns någon reservnäring som växten kan ta upp på ett okontrollerat sätt. Avsikten med den låga koncentrationen i näringslösningen var också att minimera mängden överskottsopptag. Större plantor (>2 g torrsvikt) kunde inte odlas i odlingsenheterna. En annan metod måste därför användas för större plantor. De odlades i 10 L krukor med stenull i klimatkammare i Fytotronen, Ultuna. Näringslösning med lågt ledningstal, 300 S cm^{-1} , tillfördes med droppinnar och genomflödade substratet i överskott för att ledningstalet, och därmed den interna koncentrationen i växten, skulle hållas konstant.

Sammansättningen av näringslösningen bestämdes genom upprepade justeringar av sammansättningen. Det gjordes i förförsök i odlingsenheterna i Biotronen. Som startlösning användes en lösning framtagen för björk. Näringslösningen analyserades efter det att vitkålen växt några dagar. Sammansättningen i det som vitkålen hade tagit upp bestämdes som summan av det som tillförts och mängden som försvunnit från eller ackumulerats i lösningen. En ny lösning bereddades på basis av den nya beräkningen. Detta upprepades till dess att lösningen var balanserad dvs. att den inte längre förändrades med avseende på sammansättningen. Den slutliga sammansättningen relativt till N=100 blev: K 89, P 13, S 21, Ca 60-92 and Mg 16-21, Fe 1,1, Mn 0,56, Cu 0,029, Zn 0,16, B 0,22, Mo 0,042. Lösningens pH reglerades med förhållandet $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$.

Plantor skördades vid 7 tillfällena i Biotronförsöket och vid 9 tillfällena i Fytotronförsöket och det fanns 4 resp. 5 grupper vid varje skörd. Stjälk, bladskaft och blad separerades och torkades vid 50°C i tre dygn. Bladytan mättes med LI-COR Area meter LI-3100 (Lincoln, Nebraska). Totalkväve och nitratkväve bestämdes separat för de olika plantdelarna. För att bestämma fördelningen av kväve i bladverket analyserades vart fjärde blad på totalkväve. Från dessa blad stansades bladplättar med diametern 24,2 mm ut och förvarades djupfryst. På dessa bestämdes kväve och klorofyll. Mängden ljus (Photon flux density, PFD) mättes vid varje blad på fem plantor, en i varje grupp, med en Fibre Optic PAR Quatum Sensor från Skye Instruments.

Förändringstakten av olika variabler i förhållande till tillväxten jämfördes med så kallade "Scaling relationships". Det innebär att egenskaper av olika art, alltså att de har olika mått (enheter), kan jämföras. Sådana jämförelser används för allometrisk samband, som innebär att olika egenskaper relaterar till varandra. Finessen med "scaling relationships" är att de bygger på potensfunktionen $y=ax^b$, där exponenten b (scaling exponent) är sortlös. Exponenten b visar hur de två egenskaperna relaterar till varandra. Eftersom det oftast är

enklaare att göra linjär regression än icke linjär kan man logaritmera potensfunktionen till $\log(y) = \log(a) + b \cdot \log(x)$.

Resultat

Tillväxten var exponentiell under de 3-4 första veckorna fram till en torrsubstansvikt på 2 g. Sedan följde en fas med i det närmaste exponentiell tillväxt (2-50 g; 3-6 veckor), en övergångsfas (50-140 g; 6-8 veckor) och till slut en linjär fas (140-610 g; 8-15 veckor). Den relativa tillväxthastigheten (relative growth rate, RGR) var 0,30 per dag under den exponentiella fasen. Därefter började den relativa tillväxthastigheten avta. Under den linjära tillväxtfasen ökade tillväxten lika mycket varje dag. Tillväxthastigheten var 9,5 gram per dag.

Bladytan och mängden kväve som tagits upp var linjärt korrelerade så länge som bladytan ökade. Bladytan slutade öka 8-9 veckor efter utsättning i krukorna, när huvudet började växa till. Den linjära korrelationen mellan mängden kväve och bladyta innebär att förhållandet mellan dem är konstant. Men om mängden kväve totalt i plantan räknat per bladyta, alltså kvoten mellan mängd upptaget kväve och bladyta, beräknades för varje provtagningstillfälle, ökade mängden per bladyta något. Förhållandet mellan mängden upptaget kväve och bladyta var alltså inte helt proportionellt vilket visade sig i att linjen i den linjära regressionen inte gick genom noll (interceptet skiljt från noll).

Det linjära sambandet mellan bladytan och mängden kväve som tagits upp innebär att de ökade i samma takt i förhållande till hur mycket vikten av hela plantan ökade. Ökningstakten var dock inte linjär eftersom plantvikten ökade förhållandevis mer än vad bladytan gjorde. Skillnaden i ökningstakt berodde främst på att bladen blev tjockare, men också på att mängden bladskaf och stjälk ökade i snabbare takt än vad bladytan ökade. Relationen mellan mängd upptaget kväve och plantvikt men också mellan bladyta och plantvikt kunde anpassas till en potensfunktion, $y = a \cdot W^b$, med mycket god anpassning. I potensfunktionen är y bladyta eller mängden upptaget kväve, a är dessa när $W=1$, W är totalvikten och b beskriver ökningstakten. Exponenten b var snarlik för de båda sambanden, 0,88 respektive 0,85. Men trots att de var så lika var skillnaden statistiskt signifikant. Innebörden av värdena är att kurvan för kväveupptaget (0,88) var lite flackare än den för bladytan där ökningstakten avtog något snabbare (0,85).

Den lilla skillnaden mellan i ökningstakt hänger ihop med att mängden kväve totalt i plantan räknat per bladyta ökade något. Troligtvis beror det på att ett visst överskott i upptaget av kväve ("lyxkonsumtion") trots den låga koncentrationen i näringslösningen.

Man kan visa att minskningstakten i kvoten mellan bladyta och totalvikten men också kvävekoncentrationen för hela plantan kan härledas från ökningstakten i (Appendix). Exponenten $b = 0,85$ för förhållandet bladyta till totalvikt innebär att den beräknade minskningstakten för bladytekvoten blir -0,15. Motsvarande beräkning för kvävekoncentrationen blir -0,12. Minskningstakt eller ökningstakt bestämdes också genom först att beräkna differenserna mellan ett provtagningstillfälle till nästa för variablerna samt för totalvikten. Kvoten mellan differensen för en av variablerna och differensen för totalvikten gav minskningstakt respektive ökningstakt för det aktuella provtagningsintervallet. Minskningstakten för koncentrationen av organiskt kväve beräknad på detta sätt blev -0,15 från 6 veckor efter utsättning fram till slutskörd. För bladytekvoten var minskningstakten -0,19 under 4 – 8 veckor efter utsättning. Under dessa intervall stämde minskningstakten, såsom den bestämdes för intervallen mellan varje provtagningstidpunkt, relativt väl överens med den som beräknades från ökningstakten för kvävekoncentrationen respektive bladyta. Minskningstakten i bladytekvot och kvävekoncentration var således inte synkron hela odlingsperioden. De tre första veckorna var minskningstakten för både bladytekvot och kvävekoncentration i det närmaste konstant. Därefter följde en övergångsfas där minskningstakten för kvävekoncentrationen ändrades från konstant, dvs 0, till -0,15 under ca.

3-6 veckor efter utsättning. Övergångsfasen var kortare för bladytekvoten, 3-4 veckor efter utsättningsamt då den ändrade från 0 till -0,19. Bladytekvot och kvävekonzentration var således inte helt synkrona även om de under en viss period stämde ganska väl överens med de värden som härleddes från ökningstakten av bladyta och mängden ackumulerat (upptaget) kväve. Efter 8 veckor accelererade minskningstakten för bladytekvoten eftersom bladytan inte längre ökade medan däremot totalvikten ökade genom ökningen av huvudvikten. För kvävekonzentrationen varade övergångsfasen längre än för bladytekvoten, 6 veckor mot 4, men från 6 veckor minskade den i stort sätt i samma takt fram till slutskörd. Detta betyder att kvävekonzentrationen håller sig konstant de första tre veckorna, ändrar sin minskningstakt under tre veckor varefter den minskar i en takt som kan härledas från ökningstakten av bladytan relativt till totalvikten under de första nio veckorna.

Fördelningen av kväve i beståndet var i överensstämmelse med gängse teoribildning. De blad som var mest exponerade för ljus hade högst kvävehalt räknat per bladyta. Längre ner i bladverket minskade halten. Detta hängde samman med att bladen blev tunnare (lägre specifik bladyta, specific leaf area, SLA). De blad som var närmare tillväxtpunkten eller senare huvudet var mer vertikalt riktade och hade lägre kvävehalt på viktbasis. Detta sammantaget gjorde att de högst belägna horisontellt riktade bladen hade högst kvävehalt och halt av klorofyll per bladyta.

I motsats till vår grundhypotes ökade halten av både kväve och klorofyll i de för ljus mest exponerade bladen. Ökningstakten var lika stor för hela blad som för bladplättar som stansades ut från bladen dessutom lika stor som för kvävehalten för hela plantan räknat per bladyta. Överskottet i kväveupptag kan ha orsakat ökningen. Ökningen i kvävehalt uppvisade små fluktuationer med tiden.

Eftersom kvävehalten för hela plantan och för de blad som var exponerade för fullt ljus ökade i samma takt kom kvoten mellan dem att bli konstant så länge som bladytan ökade. Kvoten var 0,8 för helblad och något lägre för plättarna. Kvoten var konstant helt från början när plantorna var små. Då var beskuggningen ännu liten och det mesta av bladverket exponerat för full ljusinstrålning. För de minsta plantorna kan kvävehalten räknat per bladyta för de blad som fick mest ljus antas gälla hela bladverket. Kvoten blir då lika med mängden kväve för hela bladverket dividerat med totala mängden kväve (bladkvävekvoten, leaf nitrogen ratio, LNR). Bladkvävekvoten var 0,8 när plantorna var 3 -4 veckor gamla. Det betyder att kvävehalten räknat per bladyta för de blad som är exponerade för full ljusinstrålning kan uppskattas från det konstanta värdet för den totala kväve mängden räknat per bladyta och bladkvävekvoten när plantorna är små.

Diskussion

Kvävehalten räknat per bladyta både för hela plantan och för de blad som fick mest ljus ökade något. De ökade i samma takt så länge bladytan ökade. Utan ett ”lyxupptag” av kväve borde ökningen i båda fallen ha varit obetydlig. Hypotesen om en konstant kvävehalt under växtsäsongen ser således ut att vara sann. Det stöds av fältförsök med vitkål där tillförseln av kväve var begränsad och där kvävehalten räknat per bladyta för hela plantan. Det har också visats i litteraturen för andra grödor. Konstant värde på kvävehalten för hela plantan visar på möjligheter för växtanalys på två sätt, dels för analys av hela plantan dels för analys av enskilda blad.

Vad det gäller analys av hela plantan så var hypotesen att kvävekonzentrationen på viktsbasis var nära knutet till bladytekvoten. Detta kunde härledas från det faktum att kvävehalten räknat per bladyta både för hela plantan var konstant. Det visades bara dock bara delvis, under övergången från den exponentiella till den linjära fasen skiljde de sig åt. En möjlig förklaring är att det fanns ett överskott av kväve i förhållande till vad som behövdes för tillväxten. Men den viktigaste slutsatsen var att minskningstakten för kvävekonzentrationen

från det att torrsubstansvikten var ca. 50 g och under hela den linjära fasen kunde härledas från ökningstakten i bladyta i förhållande till totalvikten. Närmare bestämt ökningstakten från det plantorna var helt små och så länge bladytan ökade dvs. fram till de vägde ca. 200 g torrsvikt. Tillämpningen av helplantanalys är mindre intressant för uppföljning i kommersiell odling eftersom provtagning av hela plantor är otympligt och svårhanterligt. Det kan dock vara av intresse vid försöksmässiga tester av gödslingsrekommendationer från datorbaserade beräkningar. Beräkningarna baseras på empiriska bestämningar av hela plantans kvävekoncentration och dess förändring med tiden (den ontogenetiska driften).

Vad det gäller analys av enskilda blad så var hypotesen att kvävehalten räknat per bladyta för de blad som var exponerade för mest ljusinstrålning var konstant. Denna kvävehalt ökade dock och närmare bestämt i samma takt som kvävehalten räknat per bladyta för hela plantan. Eftersom det finns stöd från fältförsök på att halten för hela plantan var konstant vid begränsad tillgång är det troligt att ökningen för de enskilda bladen skulle ha varit konstant eller obetydlig vid begränsad tillgång på kväve. Möjligheten att relatera enskilda blad till hela plantan via bladkväveknoten för små plantor ökar tillförlitligheten för de framtagna referensvärdena. Nivån på den optimala kvävehalten måste dock bestämmas från fältförsök med olika kvävenivåer. Vi avser att ta fram ett sådant värde för vitkål från befintliga data från fältförsök. Dessa beräkningar var ännu inte framtagna vid tiden för inlämnandet av denna slutrapport.

Svårigheten med växtanalys har varit att tackla dels variationen med tiden samt variationen i plantans olika delar. Man har konsekvent använt sig av kvävehalt på viktbasis vilken förändras med tiden. Genom att i stället mäta kvävet per bladyta slipper man ifrån problemet med förändringar över tiden. Utstansade bladplättar ger en väl definierad bladyta.

En annan svårighet med växtanalys är att det är retrospektivt. Analysen ger ett mått på kvävestatus men säger inget om behovet framåt. Bestämning av behovet fram till nästa gödslingsstillfälle eller till slutskörd kan göras med hjälp av datorbaserade rekommendationer, från exempelvis EurotateN eller N-Expert. Växtanalys skulle då vid behov kunna fungera som ett komplement för uppföljning av dessa rekommendationer. Uppföljning av gödslingsstrategin i ekologisk odling

Just för vitkål var det de högst belägna horisontellt riktade bladen som exponerades för full ljusinstrålning och vars kvävehalt på basis av bladytan var konstant. Dessa blad bör vara lätta att identifiera och lättåtkomliga för provtagaren. Provtagning av bladplättar bör vara smidigare att hantera än hela blad eller hela plantor. Ingreppet på grödan blir minimalt.

Vi ser därför provtagning med bladplättar som en framkomlig väg för växtanalys.

Finansiering

Den kompletterande finansieringen från SLF och SV gjorde möjligt att genomföra de omfattande analyserna på enskilda blad. FORMAS svarade för grundfinansieringen av projektet. Vi tackar för detta stöd.

Appendix

Man kan visa att minskningstakten för kvoten bladyta/totalvikten den s.k. leaf area ratio (LAR) och kvävekoncentrationen på viktbasis för hela plantan kan härledas från ökningstakten i mängd upptaget kväve (PN, plant nitrogen) och ökningstakten i bladyta (LA, leaf area). Alla ändringar i förloppen, minskningstakt och ökningstakt relateras till tillväxten, ökningen i den ackumulerade biomassan (W, torrsvikten för hela plantan, weight W).

Förhållandet mellan bladyta (LA) och vikt (W) samt mellan kväveupptag (PN) och vikt (W) kan beskrivas med potesfunktioner:

$$LA = a_{LA} * W^b$$

$$PN = a_{PN} * W^b$$

Där a är bladyta respektive kväveupptag när vikten är 1 gram per planta eller 1 ton per hektar och b är den s.k. scaling exponent.

Genom att dividera båda sidor med fås uttryck för bladkvot förhållandet, LAR, och kvävekonzentrationen, PNC:

$$LA/W = a_{LA} * W^{b/W}$$

$$PN/W = a_{PN} * W^{b/W}$$

Vilket kan förenklas till:

$$LAR = a_{LA} * W^{b-1}$$

$$PNC = a_{PN} * W^{b-1}$$

Om exempelvis exponent $b_{LA} = 0,85$ kommer $b-1$ för LAR att bli $-0,15$.

Publikationer

Ett manuskript är under färdigställande som kommer att ingå i Göran Ekbladhs avhandling. Manuskriptet ska även skickas till någon vetenskaplig tidskrift för internationell publicering. Därefter kommer resultaten att publiceras i Faktablad trädgård och i tidskrifter som når