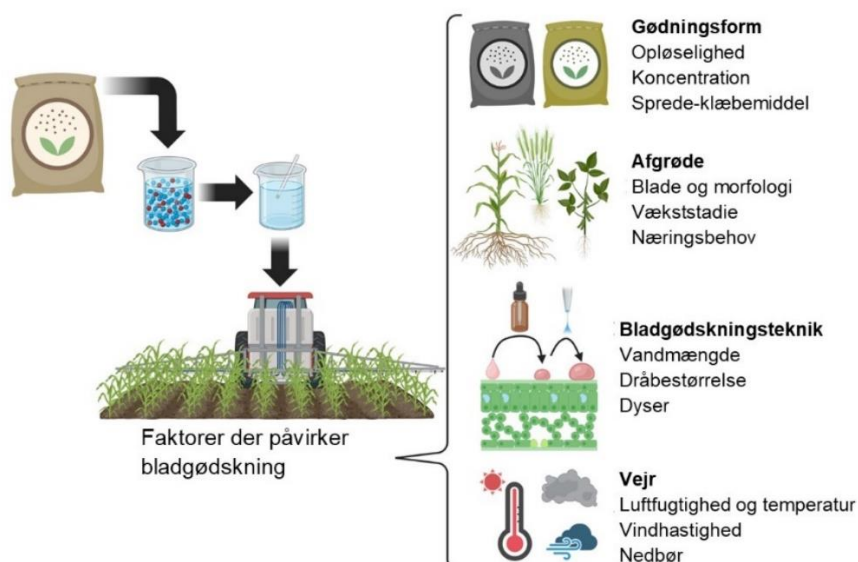


Bladgødskning: Mekanismer og anvendelse i landbrugsafgrøder

Af Dennis Konnerup, specialkonsulent ved SEGES Innovation - Planter & Miljø

Indledning

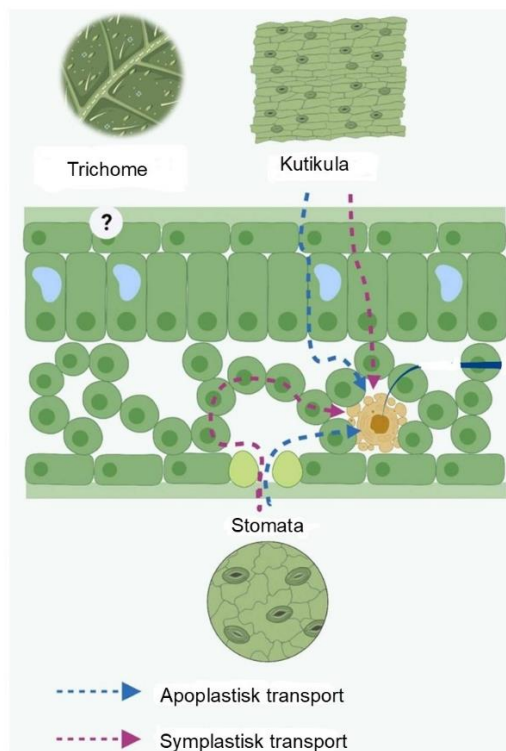
Bladgødskning betegner tilførsel af gødning ved sprøjtning af blade og unge skud med en opløsning af næringsstoffer. Tildelingen af gødning i flydende form direkte på bladene kan give en mere effektiv udnyttelse af gødningen, da optagelsen kan foregå direkte og ikke først ved at gødningen spredes på jorden. Hermed er det muligt at reducere udvaskningen samt udledning af lattergas som følge af omsætning af gødning i jorden. Derudover kan en fordel være, at det er muligt at tilpasse gødskningen mere præcist til afgrødens behov vurderet ud fra dens næringsstofstatus. Bladgødskning med mikronæringsstoffer er vidt udbredt indenfor produktion af landbrugsafgrøder, grøntsager og frugt, som dermed sikres at være velforsynede med alle essentielle grundstoffer. Imidlertid er bladgødskning med kvælstof og fosfor mindre anvendt på trods af flere potentielle fordele. En velkendt udfordring ved anvendelse af bladgødskning er risikoen for at svidning af bladene, som kan resultere i udbyttetab. Det er derfor vigtigt, at bladgødskningen foretages med nøje overvejelser om afgrødestadie, vejrforhold, valg af dyser, koncentration af næringsstoffer samt anvendelse af sprede-klæbemiddel (Figur 1). I denne rapport fokuseres der på anvendelsen af bladgødskning med kvælstof til danske landbrugsafgrøder og erfaringer fra Danmark og lignende lande.



Figur 1. Faktorer af betydning for effektiviteten af bladgødskning. Modificeret efter de Castro & Schjoerring 2024.

Optagelsesmekanismer

Optagelse af næringsstoffer gennem bladene foregår via flere veje herunder bladenes vokslag (kutikula), spalteåbninger (stomata) og muligvis bladhår (trichomer) (Figur 2). Transport gennem kutikulaen drives af en koncentrationsgradient mellem det indre og ydre af bladet, hvilket transporterer næringsstofferne fra den højeste til den laveste koncentration. Der findes to former for transport inde i bladet: apoplastisk transport dvs. stoftransport i cellevæggen, og symplastisk transport, dvs. i cellerne. Diffusionshastigheden styres af størrelsen af koncentrationsgradienten, størrelsen og ladningen af næringsstoffonen/molekylet samt den kemiske sammensætning af kutikulaen og cellevæggen (de Castro & Schjoerring, 2024).



Figur 2. Optag og transport af næringsstoffer igennem blade. Næringsstoffer kan optages i bladet igennem kutikulaen, stomata eller trichome (mekanismen er ikke helt klarlagt). Modificeret efter Ishfaq et al. 2022.

Stomata er en anden mulig vej for optagelse af næringsstoffer, der tilføres planter blade. Stomataoptagelse afhænger af hydraulisk aktivering af stomata - en proces, hvor et vandlag dannes i stomataåbningen, der forbinder apoplasten og bladets ydre overflade (Burkhardt, 2010). Efter hydraulisk aktivering kan opløste stoffer (f.eks. næringsioner) absorberes via stomata ved diffusion og massestrøm (Figur 2). Det er blevet vist, at optagelsen af ioniske opløste stoffer øges med stomatadensitet og -åbning, og at visse stoffer kun kan absorberes via stomata (Eichert et al., 2008).

Stomatadensiteten varierer blandt afgrøder, hvilket kan påvirke effektiviteten af bladgødskning. Afgrøder adskiller sig også fra hinanden i deres fordeling af stomata på de adaksiale og abaksiale bladsider. Hvede har en relativt høj stomatadensitet og derfor en effektiv optagelse af næringsstoffer via bladene (Ishfaq et al., 2022). Optagelsen af fosfat gennem hvedens adaksiale bladoverflade er højere sammenlignet med den abaksiale på grund af højere densitet af stomata og trichomer (Peirce et al., 2014). Omvendt har kartoffel et meget større antal stomata på den abaksiale bladoverflade sammenlignet med den adaksiale. I majs var optagelsen af fosfor ens, uanset om fosforbladgødning (KH_2PO_4) blev tildelt bladets adaksiale eller abaksiale side (Görlach & Mühling, 2021).

Trichomer er specialiserede strukturer på bladoverfladen. De stammer fra epidermale celler og danner encellede eller flercellede og forgrenede eller uforgrenede hårede strukturer. Typen, densiteten, størrelsen og sammensætningen af trichomer varierer blandt plantearter (Watts & Kariyat, 2022). Trichomer er vigtige for fastholdelsen af dråber på bladoverfladen. Derudover udgør trichomernes basalceller sammen med fiberceller over bladårer en potentiel optagelsesvej for næringsstoffer, der sprøjtes på bladoverfladen, men mekanismen er ikke fuldt klarlagt.

Derudover kan optagelse af partikler fremmes via Brownsk bevægelse i vandkontinuummet, hvilket giver en mulig vej for optagelse af nanopartikelfosforgødning (Husted et al., 2023).

Kvælstofform

Blades optagelsesrater af forskellige kvælstofformer er kun blevet undersøgt i få studier. Kyllingsbæk (1975) udførte en række potteforsøg i 2 år, hvor opløsninger af urea, ammoniumnitrat, calciumnitrat og ammoniumsulfat i forskellige koncentrationer (0,4-1,6 M) blev sprøjtet på bygblade. De højeste optagelsesrater og -mængder af absorberet kvælstof blev opnået for urea og ammoniumnitrat. Den hurtigste kvælstofoptagelse skete inden for de første 4 timer efter tildeling og efter 8 timer var 40-90 % af det tilførte kvælstof i urea og ammoniumnitrat absorberet. Ammoniumnitrat, calciumnitrat og især ammoniumsulfat forårsagede bladsvidning, mens urea i tilsvarende koncentrationer ikke svidede bladene. Svidning af bladene ved tildeling af kvælstof er karakteriseret som misfarvede eller døde pletter på blade og stængler. Denne skade er blevet observeret med forskellige kvælstofformer som urea, ureaammoniumnitrat (UAN) og ammoniumnitrat. Den primære årsag til svidning ved bladgødskning er formentlig en forøget ammoniumkoncentration, som overstiger planten kapacitet for at assimilere ammonium i bladene (de Castro et al., 2022). En anden medvirkende årsag til svidning kan være den osmotiske forskel, som skabes, når næringssalte tildes bladene (Fernández & Brown, 2013).

Kvælstofkoncentrations effekt på bladsvidning er for nyligt blevet evalueret under kontrollerede forhold ved at sprøjte opløsninger af urea og UAN på hvede (de Castro et al., 2022). Resultaterne viste, at en opløsning af urea over 4% forårsagede svidning efter 24 timer (Figur 3), mens en UAN koncentration over 10% tilsvarende gav skader. Andre studier har vist, at opløsninger med 12,5% urea-N og 28,8 UAN-N gav milde svidninger men uden negativ effekt på udbyttet (Abad et al., 2004; Dick et al., 2016). Woolfolk et al. (2002) har også sammenlignet kvælstofformer og vist, at bladgødskning med 34% UAN-N og 11,4% ammoniumsulfat til hvede i markforsøg resulterede i større bladsvidninger i behandlingerne med ammoniumsulfat. I et andet studie blev der i det første år af et 2-årigt markforsøg med hvede kun observeret mild bladsvidning efter bladgødskning med urea eller UAN indeholdende 2-8% N. Men i det andet år opstod der en alvorlig bladsvidning efter

bladgødskning med en 8% opløsning af urea-N ved den højeste kvælstoftilførsel på 32 kg N/ha. Den mere alvorlige bladsvidning skyldtes sandsynligvis en 3°C højere lufttemperatur i det andet forsøgsår sammenlignet med det første og dermed en hurtigere omdannelse af urea til ammonium (Ferrari et al., 2021). Urea er egnet til bladgødskning, da det er et relativt lille molekyle med neutral ladning og derfor hurtigt optages igennem bladene. I bladet hydrolyseres urea vha. enzymet urease til ammonium, som assimileres i plantens metabolisme, og hvis der dannes ammonium hurtigere end det assimileres, kan det resultere i bladsvidning (de Castro & Schjoerring, 2024).



Figur 3. Svidning af blade 24 timer efter tildeling af urea til bladenes overflade i koncentrationer på 0, 2, 4, 6 eller 9% N. (A) svidning ved påførte dråber. (B) svidning ved bladspids. Fra de Castro et al. 2022.

Afgrødeudvikling og vækststadie

Effekten af bladgødskning afhænger i høj grad af at optimere tildelingen i forhold til afgrødens vækststadie og næringsbehov. Det er essentielt at gødskes på det rigtige tidspunkt, og afgrødens egenskaber såsom bladareal, bladenes vinkel, tæthed af trichomer og bladoverfladens hydrofobe karakterer er vigtige faktorer, som ændrer sig med afgrødens vækststadie. Disse egenskaber påvirker, hvor længe dråber bliver liggende på bladene og dermed hvor stor en del af den tildelte bladgødskning, der bliver optaget, inden det når jordoverfladen.

Jensen og Spliid (2003) har i et omfattende studie undersøgt hvor stor en del af flydende gødning, der rammer jorden og blade i vinterhvede og raps ved udsprøjtning i forskellige vækststadier. Vandmængden i forsøgene var 110-200 l/ha. I vinterhvede viste resultaterne, at i gennemsnit 50 % af sprøjtevæsken blev afsat på bladene i vækststadie 23–28, hvor afgrøden blev anslået til at dække omkring 40 % af jordoverfladen. Ved vækststadie 30–32 (midten af april) var afgrødedækket omkring 70 %, og 55–63 % af sprøjtevæsken blev tilbageholdt af bladene. Omkring vækststadie 38–45 dækkede afgrøden 100 % af jordarealet, og mere end 90 % af den udsprøjtede opløsning blev afsat på bladene. I vinterraps var andelen af sprøjtevæske, som landede på bladene højere end 80 % ved vækststadie 18–19, når planterne havde mere end 9 blade.

For makronæringsstoffer som kvælstof, fosfor og kalium er bladgødskning et supplement til tilførsel via rødderne, da det er vanskeligt for afgrøderne at nå at optage den nødvendige mængde næringsstoffer i perioder med meget hurtig vækst. Anvendelse af bladgødskning kræver også, at afgrøden har nået et vist vækststadium med et tilstrækkeligt bladareal til, at størstedelen af sprøjtevæsken afsættes på bladede i stedet for jorden. Derudover kan vækststadiet være afgørende for effekten af bladgødskningen. I f.eks. hvede kan bladgødskning tildeles omkring blomstring og kerneudvikling for effektivt at forhøje proteinindholdet i kernerne.

Spredde-klæbemiddel og dyser

Bladenes overflade er ofte hydrofobe, hvilket medfører, at vanddråber nemt preller af bladene. Når blade bliver ældre, forøges de hydrofobe egenskaber ofte, og det bliver vanskeligere at afsætte sprøjtevæske på bladene (Fernandez & Eichert, 2009). Derfor anvendes spredde-klæbemiddel i bladgødningen, og det nedsætter sprøjtevæskens overfladespænding og øger vedhæftningen til bladenes overflade. Typen af dyser ved udsprøjtning er også vigtig for effektiviteten af bladgødskningen. Formålet er at få gødningen spredt ud i et tyndt lag på så stort en del af bladarealet som muligt. Derfor kan der med fordel anvendes en fladsprededyse til udsprøjtningen. Ved gødskning med flydende gødning til jorden vil det derimod være bedre at anvende en stråledyse for at få det meste af gødningen på jordoverfladen og ikke på planterne.

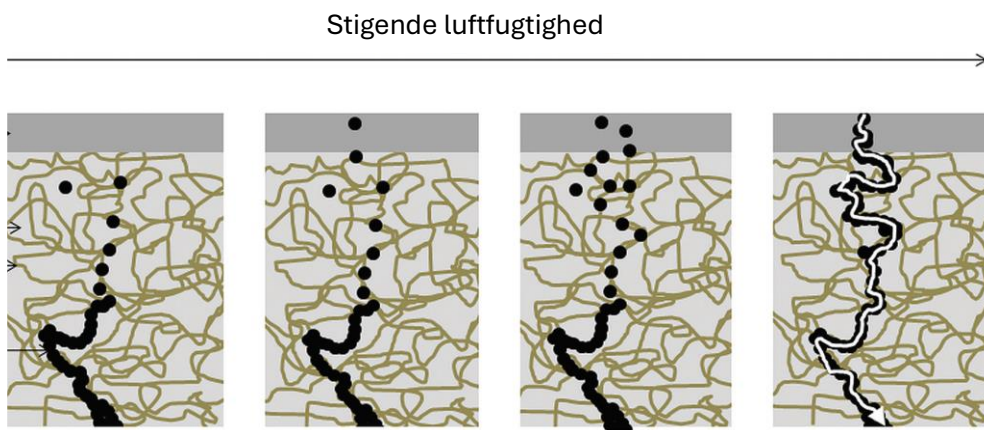
Vejr

Flere vejrtilstande påvirker effektiviteten af bladgødskningen herunder luftfugtighed, temperatur, vindhastighed og nedbør. Luftfugtighed påvirker, hvor hurtigt sprøjtevæsken tørrer ud på bladene, og derudover har høj luftfugtighed vist sig at forøge optagelsen igennem bladoverfladen og stomata (de Castro & Schjoerring, 2024). Lufttemperaturen påvirker de fysiske-kemiske egenskaber af sprøjtevæsken. Opløseligheden af næringssalte stiger med temperaturen, hvorimod overfladespænding og point of deliquescens (POD) falder. Under markforhold er det svært at adskille virkningerne af lufttemperatur og luftfugtighed. Tørring af næringsopløsningens dråber fremskyndes ved høje temperaturer på grund af en øget vandfordampning, hvilket vil mindske bladenes optagelse af næringsstoffer. Derudover kan højere temperaturer øge urease aktiviteten og dermed dannelsen af ammonium fra urea, og dette kan øge risikoen for bladsvidning (Fernández et al., 2013). Bladgødskning ved høje temperaturer bør derfor undgås. Vindforhold spiller også ind, da kraftig vind kan øge afdriften – særligt af små dråber. Nedbør kan påvirke bladgødskningen ved at skylle gødningen af bladene, inden det er blevet optaget. Tidspunktet for udsprøjtningen er derfor vigtigt og bør tilrettelægges, så der ikke kommer regn i mindst 3-4 timer efter bladgødskningen (Fageria et al., 2009).

Luftfugtigheds effekt på blades permeabilitet

Hydraulisk aktivering af blade refererer til den fysiologiske proces, hvor bladets vandstatus påvirker kutikulaens permeabilitet og stomata, hvilket har betydning for optagelsen af næringsstoffer via bladet. Ved lav luftfugtighed eller vandunderskud forbliver kutikulaen relativt stiv og hydrofob, hvilket begrænser indtrængningen af vandige opløsninger. Øget bladhydrering enten gennem højere luftfugtighed eller intern vandstatus medfører opsvulmning af kutikulaen og dannelse af vandige porer, som forbedrer diffusionsveje for opløste stoffer (Figur 4). Dette fænomen er særligt relevant for bladgødskning, da næringsstofoptag afhænger af bladets overfladeegenskaber og hydrering. Hydraulisk aktivering påvirker også stomata. Ved høj vandstatus i bladene forbliver

stomata typisk åbne, hvilket letter indtrængning af bladgødning til det sub-stomatale hulrum. Omvendt reducerer tørkestress optagelseseffektiviteten gennem stomatas lukning og kutikulaens fortykkelse. Studier med isotopsporstoffer og mikroskopi har bekræftet, at hydrerede kutikulaer har øget ionpermeabilitet sammenlignet med dehydrerede. Derfor bør bladgødskning planlægges til perioder med høj relativ luftfugtighed dog uden direkte regnvejr for at maksimere hydraulisk aktivering og næringsstofoptag. Typisk vil morgen eller aften være ideelle tidspunkter til bladgødskning (Fernández et al., 2017).



Figur 4. I denne forenklede model består kutikulaen af en matrix af kutin og voks indlejret med hydrofile polysakkarider som cellulose og andre hydrofile bestanddele i kutikulaen. Med stigende ekstern luftfugtighed optager kutikulaens polysakkarider mere vand fra den ydre overflade og ved høj luftfugtighed opstår en forbindelse mellem bladoverfladen og bladets indre. Eksternt tilførte opløste stoffer som bladgødning kan diffundere gennem disse forbindelser i kutikulaen. Fra Fernández et al. 2017.

Specifikke afgrøder og bladgødskning

Vinterhvede

I hvede kan bladgødskning være en mulighed for at forbedre kvælstofoptagelsen overordnet samt at opnå højere proteinindhold, som spiller en rolle for anvendelsen af hveden som foder eller brødhvede. Kerneudbyttet i kornafgrøder er et resultat af flere parametre såsom plantetal, buskning, antal småaks per aks og kernevægt. Disse parametre er igen et resultat af hvordan afgrøden er kommet igennem en række stadier som spiring, stængelvækst, blomstring, kerneudvikling og kernemodning. Tildelingstidspunkt og -mængde af kvælstof er afgørende for udbytte og proteinindhold. En høj tildeling i de tidlige stadier vil resultere i høj vegetativ vækst og højt udbytte på bekostning af proteinindhold i kernerne. Derimod vil gødskning i de senere stadier have mindre effekt på udbyttet men mere på indholdet af protein. Da bladgødskning med kvælstof allokere hurtigere til kernerne, kan denne praksis give mulighed for effektivt at forhøje proteinindholdet, hvis tildelingen finder sted omkring blomstring og kerneudvikling (Ferrari et al., 2021).

Forsøg med bladgødskning udført af SEGES i perioden 2010-2022 har ikke vist signifikant merudbytte i forhold til almindelig gødskning i vinterhvede (SEGES, 2010, 2018, 2020, 2021, 2022). Nogle af forsøgene har dog fokuseret mere på anvendelse af flydende gødning og ikke bladgødskning som sådan. For at kunne forvente en effekt af bladgødskning er det vigtigt at optimere parametre såsom koncentration af kvælstof, brug af spredeklæbemiddel, valg af dyser og spredning under de rette vejrbetingelser. I ni forsøg fra 2022 var formålet at afprøve forskellige kvælstofstrategier i vinterhvede. I leddet med bladgødskning blev halvdelen af en kvælstofmængde på 200 kg N/ha tildelt som bladgødskning, og resultatet var i gennemsnit samme kerneudbytte (10,5-10,7 t/ha) som leddene med faste gødningstyper tildelt ad tre gange. Det højeste udbytte blev opnået i led med fast gødning tildelt ad fire gange i stedet for tre gange, hvor gennemsnittet var 10,9 t/ha.

I Italien er der blevet udført forsøg med tildeling af bladgødskning i mængder på 64, 72 og 88 kg N/ha i ureaform (Ferrari et al., 2021). Ved såning blev der også tildelt 32 kg N/ha fast gødning i alle behandlinger. Leddene med bladgødskning blev sammenlignet med en kontrolbehandling, der blev tildelt 148 kg N/ha fast gødning ved såning og 12 kg N/ha i bladgødskning. Udbyttyerne lå i intervallet 6,1-6,8 t/ha som gennemsnit over en 2-årig periode og med et mindre men signifikant merudbytte i behandlinger med bladgødskning på trods af, at de blev tildelt 25-40% mindre kvælstof. Kerneproteinindholdet og -kvaliteten blev ikke påvirket, og det blev konkluderet, at kvælstofudnyttelseeffektiviteten var over 30% bedre ved bladgødskning.

Vinterraps

Der er kun gennemført få forsøg med bladgødskning i vinterraps. (SEGES, 2018).

I vinterraps er gødningsstrategien om foråret ofte, at cirka halvdelen af kvælstofmængden tildeles først i marts og halvdelen sidst i marts. Engelske forsøg har dog vist, at rapsen derved færdiggødskes for tidligt. I modsætning til korn er raps generelt dårlig til at omfordele næringsstoffer til frøene fra den øvrige del af planten. For tidlig tildeling af al kvælstof kan give kraftig vegetativ vækst og risiko for lejesæd, og engelske forsøg har vist, at det er vigtigt med relativt sent tildelt kvælstof, så planten har kvælstof til rådighed under frøfyldning. I praksis kan det være besværligt at høste for kraftige planter, så en senere gødskning kan også gøre rapshøsten nemmere.

I 2018 blev der fire gennemført forsøg på JB 4-7 for at undersøge potentialet i senere færdiggødskning af raps. Der blev tilført 200 kg N/ha efter forskellige strategier med udskudt tildeling af gødning i forhold til en standardgødskning, hvor der blev tildelt 50 kg N/ha midt i marts og 150 kg N/ha midt i april. Resultaterne viste ikke højere udbytte ved senere gødskning hverken ved tildeling som fast gødning eller bladgødskning. Bladgødskningen blev tilført som 20 kg N/ha i udviklingsstadiet 65 under fuld blomstring. I forsøgene var der ikke problemer med lejesæd i nogen af behandlingerne, og således ikke heller ikke udbyttereducerende lejesæd i standardgødskning, som de senere gødskninger kunne have rettet op på. Dette kan være en årsag til manglende effekter.

Ved bladgødskning er det vigtigt at være opmærksom på risikoen for svidning af bladene. Risikoen kan nedsættes ved korrekt valg af kvælstofmængde, gødningstype, dysetype og tid på dagen. I 2016 til 2018 blev der gennemført ni forsøg med bladgødskning i blomstringsfasen for at

undersøge risikoen for svidning ved forskellige kombinationer af kvælstofmængde, gødningstype, dysetype, iblanding af svampemiddel og vejrforhold. Resultaterne viste varierende grad af svidninger mellem behandlinger og forsøgsår men dog med nogle klare effekter af både kvælstofmængde og iblanding af svampemiddel. Ved 20 og 40 kg N/ha uden svampemiddel var der kun beskedne skader, mens der blev påvist kraftige svidningsskader ved 40 og 80 kg N/ha iblandet svampemiddel. Der blev ikke fundet forskel på brug af lavdriftsdyse eller gødningsdyse. I et af forsøgene blev der også undersøgt effekten af tidspunkt på dagen for bladgødskningen. Her blev udsprøjtningen enten foretaget om morgenen på våde planter eller om eftermiddagen på tørre planter i skyfrit vejr. Der blev fundet væsentlig færre svidninger ved udsprøjtning på tørre planter.

Græsmarker

En række forsøg fra Wales i perioden 2019-2021 har undersøgt anvendelsen af bladgødskning på udbytte og kvælstofudnyttelse i græsmarker (Howells & Little, 2022). Forsøgene blev udført ved fire forskellige lokaliteter. Resultaterne viste, at bladgødskning gav lige så høje udbytter (15-20 t tørstof/ha) som i konventionelle systemer på trods af 40-50% mindre tilførsel af kvælstof. Systemerne med bladgødskning gav højere udbytter under suboptimale forhold, f.eks. ved kølige og/eller tørre vækstbetingelser. Derudover var udnyttelseseffektiviteten af kvælstof, defineret som tilvækst i tørstofudbytte pr. ekstra kg N tilført 2-3 gange højere i bladgødskede systemer

Stivelseskartofler

I perioden 2018 til 2020 har SEGES udført forsøg med tildeling af bladgødskning for at undersøge muligheden for at undgå for tidlig afmodning (SEGES, 2020). Ved synlig afmodning markeret som gulning af bladene har planterne allerede over en periode på 3-4 uger ikke produceret det potentielle udbytte. Ved at udbringe hele gødningsmængden før eller i forbindelse med lægning, kan resultatet være stor topvækst, som ikke omsættes til knolde eller forsøget risiko for udvaskning. Derfor blev der i 2020 udført to forsøg med bladgødskning som flydende ureabaseret gødning på JB 1 og JB 2 med henblik på at forlænge vækstsæsonen. I forsøgene blev al kvælstof enten tildelt ved lægning (140 kg N/ha på JB 1 og 180 kg N/ha på JB 2) eller delt med mindre ved lægning og i stedet 5x10 kg N/ha i løbet af sæsonen tildelt som bladgødskning. Resultaterne ved bladgødskning viste et lille men ikke signifikant udbyttetab i forhold til at tilføre al kvælstof ved lægning. I 2018 til 2020 blev tre forsøg gennemført, og de viste ikke merudbytte men på tværs af forsøgsserier og forsøgsår en tendens til stigende udbytte ved eftergødskning i august, men effekten var ikke signifikant. Resultaterne fra forsøgene blev fortolket sådan, at kartoflerne ikke havde været væsentlig underforsynet med kvælstof, og derfor har der ikke været udfordringer med for tidlig afmodning, som kunne afhjælpes med bladgødskning. Flere forsøg med sen bladgødskning af kartofler og forskellige mængder kvælstof ville kunne belyse denne problemstilling yderligere.

Referencer

- Abad, A., Lloveras, J., & Michelena, A. (2004). Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 87(2–3). <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.007>
- Burkhardt, J. (2010). Hygroscopic particles on leaves: Nutrients or desiccants? In *Ecological Monographs* (Vol. 80, Issue 3). <https://doi.org/10.1890/09-1988.1>
- de Castro, S. A. Q., Kichey, T., Persson, D. P., & Schjoerring, J. K. (2022). Leaf Scorching following Foliar Fertilization of Wheat with Urea or Urea–Ammonium Nitrate Is Caused by Ammonium Toxicity. *Agronomy*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy12061405>
- de Castro, S. A. Q., & Schjoerring, J. K. (2024). Foliar nitrogen and phosphorus fertilization. In *Advances in Agronomy*. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2024.05.002>
- Dick, C. D., Thompson, N. M., Epplin, F. M., & Arnall, D. B. (2016). Managing late-season foliar nitrogen fertilization to increase grain protein for winter wheat. *Agronomy Journal*, 108(6). <https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0106>
- Eichert, T., Kurtz, A., Steiner, U., & Goldbach, H. E. (2008). Size exclusion limits and lateral heterogeneity of the stomatal foliar uptake pathway for aqueous solutes and water-suspended nanoparticles. *Physiologia Plantarum*, 134(1). <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01135.x>
- Fageria, N. K., Filho, M. P. B., Moreira, A., & Guimarães, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32(6). <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
- Fernández, V., Bahamonde, H. A., Peguero-Pina, J. J., Gil-Pelegrín, E., Sancho-Knapik, D., Gil, L., Goldbach, H. E., & Eichert, T. (2017). Physico-chemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. *Journal of Experimental Botany*, 68(19), 5293–5306. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx302>
- Fernández, V., & Brown, P. H. (2013). From plant surface to plant metabolism: The uncertain fate of foliar-applied nutrients. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 4, Issue JUL). <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00289>
- Fernandez, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1–2). <https://doi.org/10.1080/07352680902743069>
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2013). *Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices*. www.fertilizer.org
- Ferrari, M., Dal Cortivo, C., Panozzo, A., Barion, G., Visioli, G., Giannelli, G., & Vamerali, T. (2021). Comparing soil vs. Foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat. *Agronomy*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>
- Görlach, B. M., & Mühling, K. H. (2021). Phosphate foliar application increases biomass and P concentration in P deficient maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(3). <https://doi.org/10.1002/jpln.202000460>
- Howells, N., & Little, T. (2022). Foliar feed for grassland. *Report from European Innovation Partnership (EIP) Wales*.

- Husted, S., Minutello, F., Pinna, A., Tougaard, S. Le, Møs, P., & Kopittke, P. M. (2023). What is missing to advance foliar fertilization using nanotechnology? In *Trends in Plant Science* (Vol. 28, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.08.017>
- Ishfaq, M., Kiran, A., ur Rehman, H., Farooq, M., Ijaz, N. H., Nadeem, F., Azeem, I., Li, X., & Wakeel, A. (2022). Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. In *Environmental and Experimental Botany* (Vol. 200). <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909>
- Jensen, P. K., & Spliid, N. H. (2003). Deposition of pesticides on the soil surface. *Pesticides Research - Bekæmpelsesmiddelforskning Fra Miljøstyrelsen*, 65.
- Kyllingsbæk, A. (1975). Optagelseshastighed for kvælstof tilført bygplanter ved bladgødsning med forskellige kvælstofforbindelser. *Tidsskr. Planteavl*, 80, 15–19.
- Peirce, C. A. E., McBeath, T. M., Fernández, V., & McLaughlin, M. J. (2014). Wheat leaf properties affecting the absorption and subsequent translocation of foliar-applied phosphoric acid fertiliser. *Plant and Soil*, 384(1–2). <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2245-z>
- SEGES. (2010). *Landsforsøgene*. SEGES Innovation, Aarhus, Denmark.
- SEGES. (2018). *Landsforsøgene*. SEGES Innovation, Aarhus, Denmark.
- SEGES. (2020). *Landsforsøgene*. SEGES Innovation, Aarhus, Denmark.
- SEGES. (2021). *Landsforsøgene*. SEGES Innovation, Aarhus, Denmark.
- SEGES. (2022). *Landsforsøgene*. SEGES Innovation, Aarhus, Denmark.
- Watts, S., & Kariyat, R. (2022). Morphological characterization of trichomes shows enormous variation in shape, density and dimensions across the leaves of 14 Solanum species. *AoB PLANTS*, 13(6). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plab071>
- Woolfolk, C. W., Raun, W. R., Johnson, G. V., Thomason, W. E., Mullen, R. W., Wynn, K. J., & Freeman, K. W. (2002). Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. *Agronomy Journal*, 94(3). <https://doi.org/10.2134/agronj2002.4290>