

Til Landbrugsstyrelsen

Levering på bestillingen "Notat om status for eksisterende viden om roedyrknings effekter for miljø, natur og klima"

Landbrugsstyrelsen har i en bestilling sendt d. 7. maj 2019 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at beskrive status for viden om sukkerroedyrkning, med fokus på nitratudvaskning ved dyrkning af sukkerroer, pesticidforbrug, sukkerroers effekt på jordens kulstofpulje samt betydning af et godt sædskifte.

Besvarelsen i form af vedlagte notat er udarbejdet af seniorforsker Elly Møller Hansen, professor Bent T. Christensen, seniorforsker Lise Nistrup Jørgensen, professor Per Kudsk, seniorforsker Uffe Jørgensen og seniorforsker Ingrid K. Thomsen fra Institut for Agroøkologi samt seniorrådgiver Michael Nørremark fra Institut for Ingeniørvidenskab ved Aarhus Universitet. Akademisk medarbejder Finn P. Vinther fra Institut for Agroøkologi ved Aarhus Universitet har været fagfællebedømmer, og notatet er revideret i lyset af hans kommentarer.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet" under ID 6.04 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2018-2021".

Venlig hilsen

Lene Hegelund
Specialkonsulent, DCA-centerenheden



Notat om status for eksisterende viden om roedyrknings effekter for miljø, natur og klima

Elly Møller Hansen¹, Bent T. Christensen¹, Lise Nistrup Jørgensen¹, Per Kudsk¹, Michael Nørremark², Uffe Jørgensen¹ og Ingrid K. Thomsen¹.

¹Institut for Agroøkologi, ²Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet

Baggrund

Departementet i Miljø- og Fødevarerministeriet har 7. maj 2019 i forbindelse med servicering af Det Nationale Bioøkonomipanel bedt Aarhus Universitet (AU) om at udarbejde et notat, der beskriver status for viden om sukkerroedyrknings effekter for miljø, klima og natur. I bestillingen henvises til Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014), hvor sukkerroer indgår (Hansen et al., 2014a; Hansen et al., 2014b).

Forud for modtagelsen af bestillingen blev der afholdt et telefonmøde, hvor det blev afklaret, at henvendelsen specifikt drejer sig om sukkerroer til fabrik, også kaldet fabriksroer, som dyrkes til produktion af sukker. Der er mulighed for, at sukker kan indgå i en bioraffineringsproces til produktion af f.eks. bioplastic. Det blev endvidere aftalt, at sukkerroedyrknings påvirkning af natur og klima, som er nævnt i titlen på bestillingen, ikke skulle inddrages på nuværende tidspunkt.

Departementet ønsker en status for viden om nitratudvaskning ved dyrkning af sukkerroer med eller uden fjernelse af top, pesticidforbrug, sukkerroers effekt på jordens kulstofpulje samt betydning af et godt sædskifte. Hvis det er muligt, ønskes desuden en afsluttende diskussion af tendenser inden for "bæredygtig intensivning" (sustainable intensification) og af muligheden for at benytte præcisionsteknikker ved dyrkning af sukkerroer.

Besvarelse

Kvælstofudvaskning

Til trods for at fabriksroer tilhører samme art som fodersukkerroer, er der, som beskrevet i Virkemiddelkatalogets Bilag 5 (Hansen et al., 2014b), væsentlige forskelle i deres dyrkning mht. jordtype, klima, sædskifte og gødsning. Nærværende notat har hovedsageligt fokus på fabriksroer.

Hansen et al. (2014b) vurderede på baggrund af ældre forsøg med fabriksroer, at der ved gødsning efter daværende normer (2013/14) og fjernelse af roetop fra marken, kunne opnås samme udvaskningsreducerende effekt som ved dyrkning af korn med efterafgrøder. De daværende normer var reducerede i forhold til økonomisk optimalt udbytte. Ændring til de nugældende normer (2018/19), der ikke er underlagt reduktion, betyder, at normen til fabriksroer f.eks. på lerjord (JB7-9) er øget fra 117 (NaturErhvervstyrelsen, 2013) til 133 kg N/ha (Landbrugsstyrelsen, 2018). Til sammenligning er normen til fodersukkerroer hævet fra 177 til 211 kg N/ha.

Konklusionerne fra Virkemiddelkataloget (Hansen 2014b) stemmer overens med resultater fra et forsøg i det sydlige Sverige, hvor det allerede i 1987 blev konkluderet, at sukkerroer tilhører den kategori af afgrøder, der har den mest effektiv kvælstofudnyttelse (Steen & Lindén, 1987). I en belgisk undersøgelse af flere forskellige afgrøder fandt Hofman et al. (1994) tilsvarende, at der i november blev fundet det laveste indhold af nitrat i jorden efter sukkerroer, mens der ikke var signifikant forskel på indholdet efter f.eks.

korn og majs. I et spansk studium fandt man desuden, at gødning tilført i foråret svarende til tre gødningsniveauer (0, 94 og 204 kg N/ha) ikke påvirkede nitratkoncentrationen i jordvæsken i efteråret, og man forklarede det med sukkerroers høje kapacitet til optag af nitrat (Jégo et al., 2008). Shepherd & Lord (1996) påpeger, at en medvirkende årsag til sukkerroers evne til at reducere risikoen for nitratudvaskning om efteråret er deres forholdsvis lange vækstperiode og deres evne til at optage kvælstof indtil de høstes.

Det vurderes på baggrund af bl.a. ovenstående, at konklusionen fra Virkemiddelkataloget (Hansen et al., 2014b) stadig er gældende, selv om normen i mellemtiden er hævet til økonomisk optimalt niveau. Ved dyrkning af sukkerroer og fjernelse af roetop vil der således kunne forventes samme udvaskningsreducerende effekt som ved dyrkning af korn med efterafgrøder. Det skal bemærkes, at det er en forudsætning, at fabriksroer dyrkes under de samme dyrkningsbetingelser, som fabriksroer hidtil er blevet dyrket (Hansen et al., 2014b), dvs. på lerjord i et forholdsvis nedbørsfattigt klima, som i den østlig del af Danmark.

Hvis sukkerroetoppen efterlades på jorden efter høst af roerne, efterlades der betydelige mængder kvælstof (referencer i Hansen et al., 2014b). Alt andet lige vil dette betyde, at risikoen for nitratudvaskning øges pga. den øgede tilførsel af letomsætteligt organisk materiale, men risikoen afhænger af de efterfølgende temperatur- og nedbørsforhold. Høje temperaturer og et nedbørsrigt efterår vil øge risikoen for udvaskning af mineraliseret kvælstof fra roetoppen. Risikoen vil dog være mindre i de områder af landet, hvor fabriksroer hidtil er blevet dyrket i forhold til områder med mere sandede jorder og højere nedbørsmængder, som f.eks. i Vestjylland. Samme problematik gør sig i princippet gældende for efterafgrøder, der destrueres om efteråret (Hansen et al., 2016a og 2016b). For efterafgrøder gælder dog, at destruktions tidspunktet er mere fleksibelt end optagelsestidspunktet for sukkerroer, der senest skal optages inden roerne påvirkes negativt af frost. Fra et udvaskningsmæssigt synspunkt vil det være en fordel, hvis roetoppen fjernes.

Jordens kulstofpulje

Den dyrkede jords kulstoflager afspejler balancen mellem den fortsatte omsætning af jordens organiske pulje med tilhørende tab af kulstof og tilførslen af kulstof med planterester og anden organisk gødning. Ændringer i den dyrkede jords kulstoflager sker kun langsomt, og virkningen af et driftstiltag kan derfor først måles efter en årrække. Idet der med tiden på ny opstår ligevægt mellem tilførsel af kulstof og frigivelse af kulstof fra jordpuljen vil effekten af et givent tiltag være aftagende med årene. For normalt dyrket jord opnås ligevægt inden for en periode på 20 til 50 år (Christensen & Johnston, 1997). Når et driftstiltag med kulstofbindende effekt ophører, vil der ske et nettotab af kulstof fra jorden (negativ kulstofbinding), indtil der nås et indhold af kulstof, der svarer til indholdet før driftstiltaget blev indført. Det er således væsentligt at understrege, at der er tale om reversible virkemidler med begrænset tidshorisont.

Virkningen af et givent driftstiltag på kulstofbinding vil afhænge af jordens kulstofindhold i udgangspunktet. Såfremt den dyrkede jord allerede har et højt indhold af kulstof vil muligheden for yderligere kulstofbinding være ubetydelig, mens en dyrket jord med lavt udgangspunkt kan have et betydeligt potentiale. Potentialet for kulstofbinding afhænger desuden af jordens tekstur, idet langtidslagring af kulstof er knyttet til jordens indhold af ler. Ved samme driftsform vil lerjord have en lidt større bindingskapacitet end sandjord (Schjøning, 1986), men effekten i praksis kan være beskedent (Taghizadeh-Toosi & Olesen, 2016). Bidraget til jordens kulstoflager er nøje knyttet til mængden af kulstof, der tilføres dyrkningslaget med afgrøderester (Christensen & Johnston, 1997; Hu et al., 2018).

Roetop, der efterlades og nedmuldes efter høst, vil bidrage betydeligt til jordens pulje af kulstof. I en række forsøg, gennemført i perioden 1973 til 1980 med fabriksroer der blev tilført mellem 0 og 160 kg N/ha i

handelsgødning, blev der fundet et gennemsnitligt tørstofudbytte i roetop på 4,7 t/ha (Augustinussen, 1980; Augustinussen & Smed, 1982), hvilket svarer til en tilførsel på 2,1 t C/ha ved et kulstofindhold på 45 % i tørstof. Afhængig af gødningstilførslen varierede mængden af kulstof i roetoppen fra 1,5 t C/ha for ugødde roer til 2,2 og 2,5 t C/ha for roer tilført henholdsvis 75/90 og 150/160 kg N/ha (Augustinussen, 1980; Augustinussen & Smed, 1982). Hamelin et al. (2012) angiver, at roetop bidrager med 2,4 t C/ha. Det er i overensstemmelse med et svensk og et amerikansk forsøg, hvor der som gennemsnit af flere år blev målt tørstofudbytter på henholdsvis 4,8 og 4,2 t tørstof/ha (svarende til 2,2 og 1,9 t C/ha) (Abshahi et al., 1984; Steen & Lindén, 1987).

Tilførsel af 2,2 t C/ha i roetop svarer til tilførsel af 4-6 t halmtørstof/ha (Christensen, 1984). Ved anvendelse af simuleringsmodellen Daisy fandt Peltre et al. (2016), at ved ensidig dyrkning af vinterhvede kunne årlig nedmuldning af 5 t halm/ha vedligeholde et kulstofindhold i jorden på ca. 2 % C. For jord med oprindeligt 1 % og 1,5 % C medførte halmnedmuldning en relativ stigning i jordens kulstofindhold på henholdsvis 15 og 5 % over en 100-årig periode. Hvis halmen blev fjernet hvert år, reduceredes jordens indhold af kulstof. Kun for jord med et udgangspunkt på 1 % C kunne jordens kulstofpulje opretholdes uden halmnedmuldning i den angivne mængde. Tilsvarende forventes at gælde for roetop.

Götze et al. (2016) bestemte kulstofindholdet i jord (25 % ler; 2,2 % C) i et tysk forsøg med tilførsel af husdyrgødning og varierende hyppighed af fabriksroer (roer hvert år; 3 år med roer, et år med vinterhvede; 2 år med roer, to år med vinterhvede; et år med roer, et år med majs). I alle forsøgsled blev overjordisk biomasse (kerne, halm, roetop) fjernet efter hver høst. Uanset hyppighed af fabriksroer blev der beregnet et årligt tab af kulstof fra jordpuljen. Tabet var 0,5 t C/ha for behandlingerne roer hvert år og roer i skifte med majs. Det mindste tab (0,3 t C/ha) var i behandlingen 2 år med roer og 2 år med vinterhvede.

Hvis roetoppen fjernes fra marken, vil roerne alligevel tilføre en vis mængde kulstof til jorden fra rødder og øvrig efterladt biomasse. Hamelin et al. (2012) estimerede, at bidraget fra rødder svarede til 1,1 t C/ha, mens rester af øvrig biomasse blev skønnet at bidrage med 1,7 t C/ha. Denne tilførsel var ikke tilstrækkelig til at opretholde jordens kulstofindhold. Hamelin et al. (2012) beregnede således for husdyrgødde roer et årligt tab af kulstof fra jordpuljen på 138 kg C/ha, når roetoppen blev fjernet, mens nedmuldning af roetop kunne opretholde kulstofniveauet. For handelsgødde roer var de årlige tab på 283 kg C/ha, når roetoppen blev fjernet. Når roetop blev nedmuldet var tabet af kulstof fra jordpuljen 146 kg C/ha (Hamelin et al., 2012).

På baggrund af ovenstående vurderes, at med udgangspunkt i jord med f.eks. 1,2 % C (0-25 cm) vil jordens kulstoflager reduceres med op til 300 kg C/ha/år ved dyrkning af fabriksroer tilført relevante mængder gødning og med fjernelse af toppen. Med tilsvarende forudsætninger men med årlig nedmuldning af roetop vil jordens lager af kulstof reduceres med mellem 0 og 150 kg C/ha/år.

Betydning af et godt sædskifte

Sukkerroer har typisk været en del af forholdsvis enkle sædskifter, som på Lolland og Falster oftest har været sukkerroer, vårbyg, 1. års hvede og 2. års hvede. Det er vigtigt, at roer ikke indgår for hyppigt i sædskiftet, da dette ofte giver problemer med opformering af nematoder samt jordbårne skadedyr og sygdomme. Roesædskifter bør normalt være adskilt fra rapssædskifter, da roer og raps begge opformerer roecystenematoder.

I roesædskifter kan visse efterafgrøder have en positiv effekt ud over deres sædvanlige formål, at reducere risikoen for nitratudvaskning. Det skyldes, at antallet af roecystenematoder kan reduceres ved at dyrke nematoderesistente sorter af f.eks. olieræddike og gul sennep (Jakobsen & Hansen, 2000).

Nematoderesistente efterafgrøder sås om efteråret, hvor de stimulerer klækning af roecystenematoder, som derefter angriber efterafgrøden men efterfølgende dør, fordi nematoderne ikke kan fuldføre deres livscyklus (Jakobsen & Hansen, 2000).

Roer i sædskiftet stiller som udgangspunkt store krav til markernes renhed, da det er vanskeligt at holde en roemark ren for ukrudt, hvis ukrudtstrykket er højt.

Roedyrkning kan i forbindelse med fugtige efterårsbetingelser med vanskelige forhold for optagelse påvirke jordstrukturen pga. jordpakning. Dette kan have negative effekter på de efterfølgende afgrøders vækst og etablering. Problematikken vedrørende jordbearbejdning på lerjord om efteråret er bl.a. beskrevet af Hansen et al. (2015). En artikel i Sukkerroe-Nyt viser, at der er fokus på mulige metoder til at minimere risikoen for jordpakning ved roeoptagning (Nielsen et al., 2017).

Pesticidforbrug

Pesticidforbruget målt som behandlingshyppighed i 2016/17 er vist i Tabel 1 for roer og to andre afgrødetyper til sammenligning. Behandlingshyppigheden beskriver, hvor mange gange et areal i gennemsnit ville kunne behandles med en given mængde pesticider i løbet af en vækstsæson, hvis de blev udbragt i en standarddosering (Bekæmpelsesmiddelstatistik, 2017). Tallene viser, at den samlede behandlingshyppighed for roer ligger på et niveau mellem vinterkorn og vårkorn. Af bekæmpelsesmiddelstatistikken fremgår det ikke, at roerfrø er bejdset med insektmidler, hvilket forklarer det meget lave forbrug af insektmidler i roer.

Ukrudtsmidler udgør langt den største andel af det samlede pesticidforbrug i roer, da roer som en åben rækkeafgrøde er meget sårbar over for konkurrence fra ukrudt (Tabel 1).

I de senere år er bladsygdomme i roer blevet et større problem end tidligere, hvilket reflekteres i et større forbrug af svampemidler i roer end i vårsæd. Der eksisterer p.t. ikke sorter med resistens over for alle aktuelle bladsygdomme i roer.

Forbruget af insektmidler har i en årrække været meget reduceret som følge af den udbredte anvendelse af neonikotinoidbejdsede frø. Det nyligt vedtagne forbud mod neonikotinoide i EU betyder, at man i fremtiden kan forvente at se en større anvendelse af insektmidler for at mindske tabene som følge af skadedyr (trips, runkelroebiller, bladlus m.fl.), hvis der ikke gives dispensation til bejdsning af roerfrø, som tilfældet var i 2019.

Tabel 1. Behandlingshyppighed fordelt på afgrøderne roer, vinterkorn (f.eks. vinterhvede) og vårkorn (f.eks. vårbyg) for planåret 2016/17. Baseret på forbrugsdata. (Bekæmpelsesmiddelstatistik, 2017).

	Ukrudtsmidler	Svampemidler	Insektmidler ¹	Vækstreguleringsmidler	I alt
Roer	2,33	0,68	0,03	0	3,04
Vinterkorn	1,59	1,15	0,32	0,42	3,48
Vårkorn	1,14	0,44	0,23	0,22	2,03

¹ Sneglemidler er indregnet.

I en tysk artikel nævnes det, at det er vigtigt ikke blot at fokusere på mængden af ukrudtsmidler men også den effekt, der opnås af en given mængde (Kunz et al., 2015). I et enkelt forsøg fandt forfatterne f.eks. positiv effekt på ukrudtsbekæmpelsen ved benyttelse af "Droplegs" (sprøjtedyser placeret 16 cm over jordoverfladen) ved 3. herbicidsprøjtning.

Roedyrkning vha. præcisionsteknikker

Ukrudtsbekæmpelse i konventionelle sukkerroer udføres som bredsprøjtning med marksprøjter, og gennemføres typisk med 3-4 behandlinger. Sukkerroer dyrkes på 50 cm rækkeafstand og kombineret båndsprøjtning og radrensning er derfor et alternativ. Ved båndsprøjtning behandles et bånd omkring afgrøderækken med samme dosering per arealenhed, som anvendes ved bredsprøjtning. Der kan anvendes en båndbredde på 20 cm uden avanceret styring og dermed opnås en herbicidbesparelse på 60 % pr. sprøjtning (30 cm usprøjtet for hver 50 cm). I rækkellemrummet bekæmpes ukrudt med radrensning. Hvor båndsprøjtning finder anvendelse udføres ofte bredsprøjtning ved første behandling og derefter båndsprøjtning og radrensning ved de følgende behandlinger. Det skyldes, at der ikke er en visuel række at styre efter ved den første behandling. Den samlede herbicidbesparelse har derfor været lavere end de nævnte 60 % i de hidtidige undersøgelser. Muligheder for at reducere pesticidforbruget har været undersøgt i diverse projekter og senest i GUDP-projektet IPMIROER. I dette projekt blev det konkluderet, at såfremt den sidste ukrudtsprøjtning erstattes af 1-2 radrensninger vil forbruget af ukrudtsmidler kunne reduceres med ca. 30 %. Hvis bredsprøjtning af ukrudtsmidler erstattes af båndsprøjtning vil den samlede besparelse i herbicidforbrug være op til 50 %, eller hvad der svarer til ca. én behandlingshyppighed. Metoden kan således give en væsentlig besparelse på brugen af ukrudtsmidler, men den kræver, at der investeres i specialudstyr i form af båndsprøjte og radrenser. Det økonomiske incitament til at anvende metoden er begrænset grundet afskrivninger på specialudstyret, hvilket eksempelvis fremgår af Lund (2018). Det vurderes, at kombineret båndsprøjtning og radrensning p.t. har begrænset udbredelse. Radrensning som afsluttende behandling på arealer, hvor ukrudtsbekæmpelse foretages med bredsprøjtning, er mere hyppig. Formålet med den afsluttende radrensning er at bekæmpe ukrudt, der pga. lovmæssige begrænsninger på herbicider (midler og maksimalt anvendte doser) ikke er blevet tilstrækkeligt effektivt bekæmpet med de gennemførte sprøjtninger. Såfremt marksprøjten kan tilpasses (præcis styring af bommen), så den kan anvendes som båndsprøjte, vil det forbedre økonomien ved kombineret båndsprøjtning og radrensning markant, hvilket må forventes at føre til en udbredt anvendelse.

For at øge muligheden for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i selve roerækken kunne en ny såteknik med efterfølgende radrensning på tværs eller diagonalt være en løsning. Kubota/Kverneland har markedsført et elektronisk system (GEOSeed Level 2) for enkorssåmaskiner til præcisionssåning af f.eks. roer. Ved hjælp af nøjagtig GPS og elektronisk styring af frøplacering er det muligt at så roer i enten et kvadratisk eller diamantformet mønster. Det nøjagtige såmønster giver mulighed for radrensning på tværs eller diagonalt med radrenser med kamera eller GPS styring. Tidligere forsøg med radrensning med manuel styring på tværs af rækkerne og uden forudgående præcisionssåning har været foretaget i økologisk produktion (Tersbøl et al., 2003, 2004 og 2005). Denne metode reducerede ofte udbyttet i forhold til håndlugning af ukrudt i rækkerne, men reducerede til gengæld også tidsforbruget til håndlugning. Med GEOSeed level 2 systemet på roesåmaskiner og kamera eller GPS på radrenser forventes der ikke udbyttetab. Egentlige forsøg med GEOSeed i kombination med radrensning er dog ikke offentliggjort. Ved at anvende samme radrenser ved 2., 3. og 4. ukrudtsbekæmpelse øges rentabiliteten for radrensning i roer.

En yderligere mulighed for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i roer kunne være en lugerobot. På det europæiske marked tilbydes fire mekanisk baserede lugerobotter. Det drejer sig om Robovator (www.visionweeding.com), Robocrop (www.garford.com), Steketee IC (www.steketee.com) og Ferrari

Remoweed (www.ferraricostruzioni.com). De tre førstnævnte anvender kamerateknologi til identifikation og adskillelse af afgrøde og ukrudt, mens Ferrari anvender infrarøde sensorer (bl.a. Tillett et al., 2008; Melander et al., 2015; Lati et al., 2016). Robocrop, Steketee IC og Robovator har flere gange været afprøvet i udsåede roer, men erfaringerne er endnu for utilstrækkelige til mere generelle anbefalinger. Den store udfordring er teknologiernes evne til at kunne adskille roer fra ukrudt med tilstrækkelig sikkerhed (Utstumo et al., 2018). Firmaerne bag Steketee IC og Robovator arbejder på at løse udfordringen, og der gøres markante fremskridt. Vurderingerne lyder, at inden for de næste 1-3 år vil der være lugerobotteknologi baseret på neurale net og "machine learning", som med rimelig robusthed kan anvendes i udsåede roer. En mekanisk baseret lugerobot vil dog næppe kunne føre til en total ukrudtsbekæmpelse, da ukrudtsplanter tæt på roeplanterne vil kræve andre tiltag som f. eks. manuel lugning eller herbicidbehandling.

Det kan tilføjes, at der i GUDP-projektet "Farmdroid - Autonom totalkoncept til marken" er udviklet en prototype af en så- og lugerobot "FarmDroid" (Miljøstyrelsen, 2019), som endnu ikke er afprøvet i forsøg.

Tendenser inden for bæredygtig intensivering (sustainable intensification).

Begrebet "bæredygtig intensivering" fokuserer hovedsagelig på forbedring af effektiviteten i hele produktionskæden, dvs. forøgelse af forholdet "output/input" samtidig med at tab til miljøet reduceres eller som minimum fastholdes. Sukkerroers produktivitet er steget markant over de seneste årtier samtidigt med, at input til produktionen ikke er steget eller kun steget svagt. Märlander et al. (2018) beskriver således, hvordan udviklingen har øget produktiviteten i forhold til input af kvælstof, der i Tyskland i dag er på under 10 kg N pr. ton sukker. En stigning ses også i energiudbytte i forhold til energiinput, og forholdet forventes at stige yderligere. Præcisionsteknologier kan, som beskrevet i tidligere afsnit, tænkes at bidrage til et reduceret pesticidforbrug, men samtidig er der en risiko for et øget forbrug som følge af forbud mod centrale midler i produktionen af roer. Det er således et punkt, hvor der særligt er behov for en indsats for at sikre fremtidig bæredygtig intensivering. Märlander et al. (2018) nævner, at yderligere bæredygtig intensivering af roedyrkning vil kræve forskning i molekylær metoder, sensor- og robotteknologi, datamining og "smart farming" samt fokus på overførsel af viden til praksis og social accept af metoderne.

Referencer

Abshahi, A., Hills, F.J. & Broadbent, F.E., 1984. Nitrogen utilization by wheat from residual sugarbeet fertilizer and soil incorporated sugarbeet tops. *Agronomy Journal* 76, 954-958.

Augustinussen, E., 1980. Kvælstof-, natrium- og kaliumgødningers indvirkning på sukkerroers udbytte og saftkvalitet. *Tidsskrift for Planteavl* 84, 179-189.

Augustinussen, E., Smed, E., 1982. Kvælstofgødningens indvirkning på sukkerroers saftkvalitet og sukkertab under opbevaring. *Tidsskrift for Planteavl* 86, 97-106.

Bekæmpelsesmiddelstatistik, 2017. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Ørum, J.E. (redaktør). *Orientering fra Miljøstyrelsen* nr. 31, maj 2019.

Christensen, B.T., 1984. Nedbrydning af halm. II Vægttab af halm placeret på jordoverfladen og ændringer i halmens indhold af plantenæringsstoffer. *Tidsskrift for Planteavl* 88, 37-48.

- Christensen, B.T., Johnston, A.E., 1997. Soil organic matter and soil quality – lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. *Developments in Soil Science* 25, 399-430.
- Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører) 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 327 sider. https://pure.au.dk/ws/files/84646400/Virkemiddelkatalog_web.pdf.
- Götze, P., Rücknagel, J., Jacobs, A., Märländer, B., Koch, H.-J., Holzweissig, B., Steinz, M., Christen, O., 2016. Sugar beet rotation effects on soil organic matter and calculated humus balance in Central Germany. *European Journal of Agronomy* 76, 198-207.
- Hamelin, L., Jørgensen, U., Petersen, B.M. & Olesen, J.E., 2012. Modelling the carbon and nitrogen balances of direct land use changes from energy crops in Denmark: a consequential life cycle inventory. *GCB Bioenergy* 4, 889-907.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Schelde, K., Olesen, J.E., Strandberg, M.T., Jacobsen, B.H., Eberhardt, J.M., 2014a. Afgrøder med høj kvælstofoptag. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 43-50.
- Hansen, E.M., Søgaard, K., Børgesen, C.D., 2014b. Bilag 5. Roer: Vurdering af udvaskningsreducerende effekt. I: Eriksen, J., Jensen, P.N. og Jacobsen, B.H. (redaktører), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, side 260-274.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Pedersen, H.S., Enkegaard, A., 2015. Vurdering af effekten på kvælstofudvaskningen af nye undtagelser til det eksisterende forbud mod jordbearbejdning. Notat til NaturErhvervstyrelsen 11. december 2015. https://pure.au.dk/portal/files/95993667/F_lgebrev_og_besvarelse_Vurdering_af_effekten_p_kv_lst_ofudvaskningen_af_nye_undtagelser_til_det_eksisterende_forbud_mod_jordbearbejdning_11122015.pdf
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Olesen, J.E., 2016a. Betydningen for kvælstofeffekten af efterafgrøder ved ændrede regler i forhold til etablerings- og opløjningstidspunkter. Notat til NaturErhvervstyrelsen 21. oktober 2016. http://pure.au.dk/portal/files/108319703/Besvarelse_Betydningen_for_kvaelstofeffekten_inkl_supplerende_sp_rgsm_l_141116.pdf
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Olesen, J.E., 2016b. Supplerende spørgsmål til notatet "Betydningen for kvælstofeffekten af efterafgrøder ved ændrede regler i forhold til etablerings- og opløjningsdatoer". Notat til NaturErhvervstyrelsen 14. november 2016 (samme link som Hansen et al. 2016a).
- Hofman, G., De Smet, J., Van Meirvenne, M and Versteegen, P., 1994. Residual soil nitrate under intensive agriculture. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 25, 1197-1207.

- Hu, T., Sørensen, P., Olesen, J.E., 2018. Soil carbon varies between different organic and conventional management schemes in arable agriculture. *European Journal of Agronomy* 94, 79-88.
- Jakobsen, J., Hansen, L.M., 2000. *Roecystenematoder*. Grøn Viden, Markbrug nr. 226. Aarhus Universitet.
- Jégo, G., Martínez, M., Antigüedad, I., Launay, M., Sanchez-Pérez, J.M., Justes, E., 2008. Evaluation of the impact of various agricultural practices on nitrate leaching under the root zone of potato and sugar beet using the STICS soil-crop model. *Science of the Total Environment* 394, 207-221.
- Kunz, C., Schrölkamp, C., Koch, H.-J., Eßer, C., Lammers, P.S., Gerhards, R., 2015. Potentials of post-emergent mechanical weed control in sugar beet to reduce herbicide inputs. *Landtechnik* 70, 67-81.
- Landbrugsstyrelsen, 2018. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019. Miljø- og Fødevarerministeriet. 1. revision, maj 2018.
https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2018_2019_1version.pdf.
- Lati, R.N., Siemens, M.C., Rachuy, J.S., Fennimore, S.A., 2016. Intra-row weed removal in broccoli and transplanted lettuce with an intelligent cultivator. *Weed Technology* 30, 655-663.
- Lund, O., 2018. Økonomisk sammenligning af båndsprøjtning/radrensning kontra alm. marksprøjtning, Regneark fra SEGES Erhvervsøkonomi.
https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/plantevaern/ukrudt/mekanisk-ukrudtsbekaempelse/sider/oekonomi-i-radrensning-med-nye-muligheder_pl_16_2898_9739.aspx (kræver login).
- Märländer, B., Hoffmann, C., Koch, H.-J., Ladewig, E., Niemann, M., Stockfisch, N., Varrelmann, M., Mahlein, A.K., 2018. Sustainable intensification a quarter century of research towards higher efficiency in sugar beet cultivation. *Sugar Industry – Zuckerindustrie* 143, 200-217.
- Melander, B., Lattanzi, B., Pannacci, E., 2015. Intelligent versus non-intelligent mechanical intra-row weed control in transplanted onion and cabbage. *Crop Protection* 72, 1-8.
- Miljøstyrelsen, 2019. Solcelledrevet markrobot kan selv så og luge. Nyhed fra Miljø- og Fødevarerministeriet, Miljøstyrelsen 29. maj 2019. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2019/maj/solcelledrevet-markrobot-kan-selv-saa-og-luge/>.
- NaturErhvervsstyrelsen, 2013. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2013 til 31. juli 2014. Revideret 10. september 2013. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_2013-2014_september_2013_6_udgave_1_.pdf.
- Nielsen, O., Schjøning, P., Lamandé, M., 2017. Minimering af jordpakning ved roeoptagning. *Sukkerroe-Nyt*, februar 2017, nr. 1, side 6-10.

<https://danskessukkerroedyrkere.dk/~media/danskessukkerroedyrkere/information/sukkerroenyt/arkiv/sukkerroe-nyt-nr-1-2017.pdf>

- Peltre, C., Nielsen, M., Christensen, B.T., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Bruun, S., 2016. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crop and early sowing of wheat to offset soil C and N losses: A simulation study. *Agricultural Systems* 143, 195-202.
- Schjønnung, P., 1986. Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg II. Indflydelse af halm og stubbearbejdning på jordens indhold af kulstof, kvælstof, kalium og fosfor. *Tidsskrift for Planteavl* 90, 141-149.
- Shepherd, M.A., Lord, E.I., 1996. Nitrate leaching from a sandy soil: the effect of previous crop and post-harvest soil management in an arable rotation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 127, 215-229.
- Steen, E., Lindén, B., 1987. Role of fine roots in the nitrogen economy of sugar beet. *Journal of Agronomy & Crop Science* 158, 1-7.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J.E., 2016. Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. *Agricultural Systems* 145, 83-89.
- Tersbøl, M., mfl., 2003. Økologisk dyrkning. Sukkerroer – dyrkning. I Pedersen, C.Å. (redaktør). *Oversigt over Landsforsøgene 2003*, SEGES, side 240-41.
- Tersbøl, M., mfl., 2004. Økologisk dyrkning. Sukkerroer – dyrkning. I Pedersen, C.Å. (redaktør). *Oversigt over Landsforsøgene 2004*, SEGES, side 262-63.
- Tersbøl, M., mfl., 2005. Økologisk dyrkning. Sukkerroer – dyrkning. I Pedersen, C.Å. (redaktør). *Oversigt over Landsforsøgene 2004*, SEGES, side 277-79.
- Tillett, N.D., Hague, T., Grundy, A.C., Dedousis, A.P., 2008. Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99: 171-178.
- Utstumo, T., Urdal, F., Brevik, A., Dørum, J., Netland, J., Overskeid, Ø., Berge, T.W., Gravidahl, J.T., 2018. Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture* 154, 36-45.