

Forskningsspørgsmål og -emner relevante for klimatilpasning af landbruget

Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Jørgen E. Olesen¹⁾, Mathias Neumann Andersen¹⁾, Mogens H. Greve¹⁾, Jan Tind Sørensen²⁾, Jan V. Nørgaard²⁾, Martin Riis Weisbjerg²⁾, Britt Henriksen²⁾, Morten Dam Rasmussen³⁾, Trine M. Villumsen⁴⁾, Carl-Otto Ottosen⁵⁾, Hanne L. Kristensen⁵⁾, Martin Jensen⁵⁾

¹⁾ Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

²⁾ Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Aarhus Universitet

³⁾ Institut for Bio- & Kemiteknologi, Aarhus Universitet

⁴⁾ Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, Aarhus Universitet

⁵⁾ Institut for Fødevarer, Aarhus Universitet

Datablad

Titel:	Oplisting af forskningsspørgsmål og -emner relevant for klimatilpasning af landbruget
Forfatter(e):	Jørgen E. Olesen, Mathias Neumann Andersen, Mogens H. Greve fra Institut for Agroøkologi, Jan Tind Sørensen, Jan V. Nørgaard, Martin Riis Weisbjerg og Britt Henriksen fra Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, Morten Dam Rasmussen fra Institut for Bio- & Kemiteknologi, Trine M. Villumsen fra Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning, Carl-Otto Ottosen, Hanne L. Kristensen og Martin Jensen fra Institut for Fødevarer, AU
Fagfællebedømmelse:	Mogens Nicolaisen fra Institut for Agroøkologi, Christian Friis Børsting fra Institut for Husdyr- og Veterinærvidenskab, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Specialkonsulent Anna Feldberg Marsbøll, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Dato for bestilling/levering:	19.03.2024 / 25.04.2024
Journalnummer:	2024-0666449
Finansiering:	Notatet er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Miljøministeriet, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Aarhus Universitet under ID nr. 2.24 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2024-2027" og indsatsområde 4 i "Ydelsesaftale Husdyrproduktion 2024-2027".
Ekstern kommentering:	Nej.
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til bestilling:	I 2023 udarbejdede AU rådgivningsrapporten Vidensyntese om klimatilpasning og landbrug (kan findes via dette LINK). I denne bestilling ønskes et selvstændigt notat der skal supplere kapitel 7 i vidensyntesen med en udvidet bruttoliste over potentielle forskningsspørgsmål vedrørende klimatilpasning af landbruget.
Citeres som:	Olesen JE, Andersen MN, Greve MH, Sørensen JT, Nørgaard JV, Weisbjerg MR, Henriksen B, Rasmussen MD, Villumsen TM, Ottosen C-O, Kristensen HL, Jensen M, 2024. Forskningsspørgsmål og -emner relevante for klimatilpasning af landbruget. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. 15 sider. Leveret: 25.04.2024.
Rådgivning fra DCA:	Læs mere på https://dca.au.dk/raadgivning/

Baggrund

Klimaet er under forandring, og ændringerne vil påvirke hele samfundet, herunder landbruget. For at sikre en robust dansk landbrugsproduktion og fødevarerforsyning i fremtiden, er der behov for forskning i effekter af klimacændringer på landbruget og den tilknyttede arealanvendelse, herunder især hvordan landbruget kan tilpasses til et forandret klima.

I 2023 udarbejdede Aarhus Universitet en vidensyntese om klimatilpasning og landbrug (Andersen et al., 2023). Rapporten viste, at det danske klima er under forandring med en hastighed, der overgår forventningerne i det danske klimaatlas (Thejll et al., 2021). Der har således generelt i Danmark over perioden 1980 til 2020 været en temperaturstigning på 0,5 °C per årti og en stigning i årsnedbøren på 15 mm per årti. Dette skal ses i forhold til klimaatlasset, der frem til 2040 forventer en temperaturstigning på 0,24 °C og en nedbørstigning på 10 mm per årti. Samtidig ses der klare tendenser til en stigende variabilitet i klimaet og større hyppighed af ekstremhændelser. Disse ændringer i klimækstremer genfindes over hele Europa, hvor der er signifikant stigning i ekstrem vinternedbør over 15% af Europa, mens 7% af Europa har oplevet signifikant mere sommertørke (Ossó et al., 2022).

Effekter på planteproduktionen er primært knyttet til temperatur og til tilgængeligheden af vand (for meget eller for lidt). Temperatur påvirker vækstvilkårene for planter og deres produktionscyklus. Samtidig kan meget lave eller høje temperaturer stresser både planter og dyr. De største negative effekter på planteproduktion og dermed også på foderforsyning til dyrene fås gennem effekter af intens og langvarig tørke, og tørke har derfor også været genstand for kortlægning af forskningsbehov (Trnka et al., 2018). Der er dog mange måder hvorpå klimaet og klimacændringer påvirker landbrugets systemer, og der er også indirekte effekter gennem fx landbrugets påvirkning af vandmiljøet eller udledninger af drivhusgasser. Effekterne kan heller ikke ses isoleret i en dansk sammenhæng, da den danske fødevarerproduktion er en del af et globalt fødevarer-system, hvor forsyningskæder mange steder er under pres fra klimacændringer. Dette kan give nye muligheder for dansk produktion, bl.a. fordi landbrugssystemerne i Europa påvirkes meget forskelligt af klimacændringer (Zhao et al., 2022).

Der er mange aspekter omkring tilpasning til klimacændringer, men overordnet kan det opdeles i tilpasning til generelt ændrede temperatur- og nedbørforhold og tilpasning til ændringer i variabilitet og ekstremer. Tilpasning til ændringer i gennemsnitsklimaet vil fx involvere ændringer i muligheder for dyrkning af forskellige afgrøder og hvordan de håndteres (fx såtider og gødskning). Danmark ligger i denne sammenhæng et gunstigt sted, hvor der næppe er store trusler mod produktionen. Derimod er der betydelige udfordringer i forhold til at kunne tilpasse sig til den øgede variabilitet i klimaet, og især forekomsten af flere ekstremer og flere typer af ekstremer, som har betydelige negative effekter for en række afgrøder (Trnka et al., 2014; Pullens et al., 2019; Trnka et al., 2020) og husdyr (Godde et al., 2021; Thornton et al., 2021). Tilpasning til dette forudsætter af udvikling af en bedre modstandskraft (resiliens) i produktionssystemerne mod sådanne ekstremer.

Landbrugsstyrelsen har på denne baggrund ønsket et notat til at supplere redegørelsen i vidensyntesen om klimatilpasning og landbrug omkring potentielle forskningsspørgsmål vedrørende klimatilpasning i landbruget. Der ønskes en opstilling af mulige forskningsspørgsmål og forskningsemner relateret til teknologiske og naturbaserede løsninger, som spænder over alle grene af landbruget og primærproduktionen, herunder den tilknyttede arealanvendelse.

Besvarelse

I besvarelsen oplistes de forskningsspørgsmål og -emner som vurderes relevante for klimatilpasning for landbrug og fødevarerproduktion i Danmark under hensyn til de forventede ændringer i klimatiske betingelser. Emnerne er grupperet under planteproduktion, husdyrproduktion, landskab og kortlægning, miljøpåvirkning, og socioøkonomi.

1.1 Planteproduktion

1.1.1 Nye afgrøder og dyrkningssystemer

- Klimacændringer muliggør dobbeltafgrøder som en reel mulighed i Danmark, men viden herom er meget begrænset, både mht. potentiel øget biomasseproduktion og foderkvalitet, samt effekten på N udvaskning. Eksempler på dobbeltafgrødesystemer kunne være majs og fx rug som vinterafgrøde (alternativer rajsvingel, vinterkløver, etc.), samt høst af umodent korn til ensilering for at sikre tidlig høst der sikrer udvikling af efter/vinterafgrøden. Der er et betydeligt forskningsbehov på såvel plantesiden (etablering af afgrøder så der sikres plantemasse der kan udnytte hele årets solindstråling) samt på husdysiden, hvor det skal sikres at den øgede biomasseproduktion har en næringsstofsammensætning og fordøjelighed, der gør den egnet til kvægfoder.
- Udvikling af samdyrkningssystemer og sædskifter med afgrøder i arts- og sortsblandinger, der kan komplementere hinanden i forhold deres krav til vand, temperatur, sygdomsresistens mm., og dermed sikre udbytte i tilfælde af ekstreme vejrforhold.
- Optimering af artsvalg, forædling og dyrkningstiltag målrettet polykulturer, samdyrkning og sribedyrkning af flere arter for forbedret udnyttelse af lys, vand, næringsstoffer, konkurrenceevne i forhold til ukrudt og sygdomme samt tiltrækning af nyttedyr. Dette skal følges af teknologiudvikling tilpasset flerartssystemer, hvor driftsoperationer kan differentieres til arternes forskellige behov for gødskning, høsttidspunkt osv. Disse systemer forventes at øge resiliens i forhold til klimacændringer.
- Udvikling og dokumentation af dyrkningssystemer med reduceret jordbearbejdning (pløjefri) og diversificeret sædskifte som metode til at øge resiliens til klimacændringer.
- Med et varmere klima kan der være potentiale for at udnytte varmekrævende C4 afgrøder som Miscanthus, sorghum og hirse, som forventes at have højere varme- og tørketolerance, men typisk er disse arter udfordret af lave temperaturer i foråret og af problemer med modning om efteråret. Der er derfor brug for selektion og test af genotyper af disse arter til dyrkning under danske forhold.
- Udvikling af dyrkningssystemer for flerårige afgrøder baseret på domesticering af flerårige afgrøder fra forfædre til nuværende afgrøder tilpasset det fremtidige miljø og tilhørende driftsmetoder og dyrkningssystemer.
- Udvikling af komplekse produktionssystemer (fx skovlandbrug, permakultur) og tilhørende driftsmetoder for at øge biodiversiteten og stabiliteten i produktion. Der er behov for længerevarende markforsøg, hvor flerårige afgrøder kan nå en produktionsdygtig alder og driftsmetoder kan undersøges under realistiske forhold og resilienseffekter kan dokumenteres.

- Integration af energi- og afgrødeproduktion (fx Agrivoltage systemer mellem rækker, læhegn med solpaneler). Denne integration kan reducere vandforbrug og reducere risiko for høje og lave temperaturer.
- Udvikling af systemer med mindre følsomhed for ekstremt vejr ved overdækning af frugt og bærefrøder samt andre højværdiafgrøder med dækkematerialer (folier/glas med solpaneler) og resource optimering (vand og gødning).
- Der er brug flere og bedre etablerede af vinterafgrøder for at udnytte vækstsæsonen optimalt. Våde vintre medfører sen etablering af vårsåede afgrøder, lige som forsommertørke udfordrer deres udvikling og udbyttepotentiale.
- Analyse af vandbalance og temperaturforhold i skovlandbrug og Agrivoltage systemer for at modvirke klimaekstremer. Dette kan også inkludere anvendelse af robotbaserede dyrkningssystemer, for produktion og høst af nødder, frugt, grøntsager, korn, grøngødning og foder til husdyrproduktion.
- Udvikling af metoder til opsamling af vand fra Agrivoltage systemer i perioder med megen nedbør, og senere anvendelse til vanding i tørre perioder i vækstsæsonen. Solpanelerne virker som tag og kan hvis de forsynes med tagrender bruges til opsamling af nedbør.

1.1.2 Forædling

- Phenotyping for øget resiliens til ekstreme vejrforhold (vandmætning, frost) for både eksisterende og nye afgrøder.
- Screening og forædling af nye arter og sorter af cerealier, olieafgrøder og bælgplanter, grøntsager, frugt m.v. samt optimering af markdriftsmetoder og dyrkningssystemer tilpasset klimaforandringer, fx tørke og ekstremt vejr. Dette kan inddrage genbankmateriale til udvikling af forbedrede sorter i forhold til resiliens overfor ekstreme klimaforhold og plantesygdomme og skadedyr (nematoder og insekter). Desuden er der behov for udvikling og optimering af teknikker til speed breeding for både vinter- og forårsafrøder med henblik på at reducere den tid det tager at udvikle nye sorter tilpasset fremtidens klimaforandringer og mere ekstreme vejrforhold.
- Forædling med henblik på et bedre samspil mellem afgrøderne og deres omgivende mikroorganismer i rodzonen. Der er evidens for, at mikroorganismer i rodzonen kan forbedre afgrøders resiliens mod fx tørke, salt, varme og patogener.
- Anvendelse af nye genomiske teknikker fx CRISPR/Cas med henblik på at identificere potentielle gener til brug i forædlingen for at opnå mere klimaresiliente sorter, herunder med ændret rodarkitektur og øget tolerance for forskellige klimaekstremer. Dette kan eventuelt kombineres med nye teknikker til phenotyping af rodtybde og rodaktivitet.
- Nogle afgrøder (fx kartofler og nogle korn- og græsafgrøder) viser betydelige udbyttetab i kartofler som følge af høje temperaturer. Der er behov for forædling af sorter med højere temperaturoptimum.
- Ændre enårige afgrøder til flerårige, fx cerealier med fokus på genetiske mekanismer der styrer afgrødernes livscyklus og overvintringsevne og derefter optimere tilhørende driftsmetoder og dyrkningssystemer (flere arter, flere flerårige arter i sædskiftet, screening for klimatolerance).

- Udvikle et marklaboratorium for afgrøder udviklet ved nye genomiske teknikker, som fx CRISPR/Cas, som muliggør løbende monitorering af en lang række faktorer for klimacændringer og klimatilpasning og dækker en pipeline fra udvikling, evaluering og kategorisering i forhold til EU's regulering.

1.1.3 Tørke

- Bedre modellering af udbyttetab som følge af tørke på tværs af jordtyper (især lerjorde). Den nuværende prædiktionsmodel i beslutningsstøttesystemet Vandregnskab er alene valideret på data fra markforsøg på sandjord (JB1). Det foreslås at gennemføre vandingsforsøg på andre jordtyper, hvilket kan understøtte tiltag til vanding på lerjord i særlige situationer.
- Monitorering af tørke og vandingsbehov på mark- og delmarkniveau ved anvendelse af satellitdata kombineret med modellering og AI. Jordfugtighed på overflade og muligvis i rodzone, inkl. tidslig analyse vil kunne kortlægges løbende på 10x10 m grid.
- Bedre datagrundlag for indvindingstilladelser til markvanding vha. nuclear magnetic resonance (NMR) scanning og screening for vandreserver i undergrunden. Non-invasiv arealopgørelse i stedet for punktvis pejleboringer.
- Øgning af planternes tilgængelige vandmængde i rodzonen, fx gennem tilførsel af biokul, der kan øge både sandjordens vandholdende evne og afgrødernes roddybde. Dette vil kunne sikre en bedre tørkemodstandsdygtighed. Øget roddybde vil desuden kunne nedsætte N-udvaskningen.
- Afklaring af betydningen af jordens mikroorganismer og deres samspil med planterne og planternes rødder for tørketolerance.

1.1.4 Jord

- Videreudvikling af algoritmer og beslutningsstøtte for bestemmelse af markjordens tjenlighed for færdsel og jordbearbejdning, for optimering af jordstruktur, især i relation til jordens vandindhold.
- Udvikling af dyrkningssystemer tilpasset robotter, som med deres lavere vægt i forhold til almindelige traktorer med maskiner ikke have samme komprimering af jorden. Derudover vil vi med robotterne langt nemmere kunne monitorere afgrødens vækst og udvikling, hvor specielt samdyrkning er i fokus, reducere pesticidforbruget ved spotbehandlinger og tilføre flydende gødninger.
- Mindske risiko for vanderosion og genetablering af naturlig jordstruktur. Portalmaskine og redskabsbærer på op til 14 m. Kun jordpakning af 3-5% af arealet over hele dyrkningssæsonen, og derfor kun reetablering af jordstruktur på 3-5% af arealet. Sandsynligt at portalmaskiner bedre kan håndtere fx høst under meget våde forhold pga. de sæsonmæssige permanente plejespor og den anderledes montering af redskaber i maskinens portal.
- Test af alger, siliciumbaserede biostimulater (fx diatomeer jord) og mikroorganismer til at øge tørkeresiliens i afgrøder, forbedre jordsundhed og reducere lattergasudledninger.

1.1.5 Plantebeskyttelse

- Klimacændringer vil ændre den geografiske udbredelse af skadevoldere og bestøvere. Der er derfor behov for at forbedre forædling, sortsvalg og dyrkningssystemer med henblik på at optimere

resistens/resiliens over for nye skadevoldende mikroorganismer, nematoder og insekter samt optimering af dyrkningssystemer som tager højde for en effektiv bestøvning.

- Forbedring af planterens resiliens overfor biotisk og abiotisk stress ved hjælp af mikrobiologiske løsninger. Det har vist sig, at flere mikroorganismer er i stand til at afhjælpe plantestress som fx tørke, varme eller plantesygdomme.
- Bedre viden om klimacændringernes betydning for nye og eksisterende ukrudtsarters fremspiringsdynamik og initiale væksthastigheder i forhold til afgrøderne. Denne viden har stor betydning for timingen af bekæmpelsesinterventioner – både for de kemiske og ikke-kemiske metoder. Ændrede temperatur- og nedbørsforhold kan nedsætte effekterne af de eksisterende metoder betydeligt. Foruden timingen vil ukrudtsplanternes overlevelsessevne efter bekæmpelse sandsynligvis være større med et varmere og mere nedbørsrigt klima.
- En større inddragelse af flerårige afgrøder i sædskifterne forventes at øge dyrkningssystemernes resiliens over for ukrudt og sygdomme. Tilsvarende kan diversitet i afgrødefølger (sædskifter) formentlig forhindre at problematiske ukrudtsarter fremmes under ændrede klimaforhold, og det kan dermed begrænse konsekvenserne af klimaekstremer, som evt. kan forhindre effektive bekæmpelsesmetoder. Nye flerårige afgrøder til bioenergi, bioraffinering, foder m.m. rummer et stort potentiale for en miljøvenlig og robust plantebeskyttelse med et nedsat pesticidforbrug. Der er dog et stort behov for at dokumentere disse systemers mulighed for at reducere bekæmpelsesbehov under klimacændringer.
- Som konsekvens af klimaforandringerne vil der komme nye patogener samt opstå nye resistensbrydende varianter af allerede eksisterende patogener. Der er derfor behov for bedre forståelse af spredning og evolution af nye patogener i relation til klimaforandringer. Beskrivelse af nye sygdomme og nye varianter af eksisterende patogener som konsekvens af klimaforandringer med henblik på varsling og forebyggelse ved forædling og optimeret dyrkning.
- Påvisning af genetisk betinget resistens i afgrøder til at modstå øget sygdomstryk fra dominerende og nye plantesygdomme. Fokus på resistens overfor eksisterende samt nye patogenvarianter fra ind- og udland for at afdække effekt og risiko for uventet "nedbrud" af resistens i kommende dyrkningssæsoner.
- Optimering af effektiviteten af biologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktionen for at reducere behovet for pesticider under et varmere klima. Centrale forskningsemner omhandler at afdække interaktionerne mellem mikrobiomet og planteværten med henblik på at gøre planten i stand til at udnytte mikroorganismernes gavnlige effekt på plantens resiliens. Dette kan gøres fx ved at identificere elementer i plantens genom som er af betydning for positive plante-mikrobe interaktioner og inddrage disse elementer i forædlingen. Herudover er der brug for forskning i optimal anvendelse, fx timing, af biologiske bekæmpelsesmidler

1.1.6 Monitorering

- Anvendelse af satellitter til monitorering af afgrødeudvikling, herunder tørkeindikatorer i vækstsæsonen. Metoden vil på sigt udpege de områder, som vi skal have særlig fokus på, både når det kommer til tørkestress men også i forhold til åbent vand på markerne.

- Monitoring af nye plantesygdomme gennem systematisk registrering af plantesygdomme på nye korn-, græs-, knold- og proteinafgrøder, samt nye plantesygdomme på etablerede afgrøder. Der fokuseres til dels på kendte vanskelige sygdomme, som kartoffelskimmel, dels svampesygdomme, som har fået fornyet betydning, fx sortrust på korn og græsser (netop vendt tilbage til Nord- og Vesteuropa efter mere end 60 års fravær), samt toxin-producerende fusariumsvampe, som har fået stigende betydning på hvede pga. øget dyrkning af majs til foder og konsum. Der er desuden behov for udvikling af varslingsystemer for nye sygdomme og skadedyr.

1.1.7 Beskyttede produktionssystemer

- Beskyttet produktion (væksthus, vertikal farming) til fødevarerproduktion med mindre følsomhed for problemstillinger i forsyningskæderne knyttet til klimaekstremer.
- Udvikling af modeller til kompleks klimastyring i væksthuse med forsyning fra vedvarende energiforsyning (varmelagring, væksthuse som energibuffer, kunstlys som gridbalancing ifm. vedvarende energikilde).
- Udvikling af nye højværdierafgrøder til beskyttet kultur så produktionen kan øges og med større forsyningsikkerhed året rundt.

1.2 Husdyrproduktion

1.2.1 Foderforsyning

- Forskning i stabil foderforsyning (især grovfoder) med høj fordøjelighed og næringsstofforsyning, som er tilpasset højere temperaturer, længere vækstsæson og mere varierende klima (temperatur, tørke), fx græsmarksplanter (foderværdi af arter med tørkeresistens), fodersukkerroer (ensilerede roer, udnyttelse af top), samt sojabønner, sorghum og andre varmekrævende arter der kan blive relevante.
- Afklaring af muligheder for reduktion af varmemstress ved ændring i foderrationens sammensætning hos højtydende malkekvæg. Potentielle muligheder kunne være køling ved øget vandoptagelse og øget væskefortynding i vommen ved fodring med store saltmængder samt reduceret varme-produktion ved fodring med fedtrig og fiberfattigt foder. Såvel effekten af sådanne rationsændringer samt potentielle negative sideeffekter er ikke tilstrækkeligt belyst, og slet ikke under danske forhold.
- I forbindelse med varmemstress kan antioxidative vitaminer (Vitamin C + E) og antioxidanter have betydning for at modvirke varmemstress, men forskning under danske forhold mangler.
- Udskiftning af kulhydrater, herunder især fibre, med fedt som energikilde i foder til svin vil reducere grisens varme-produktion. Det må antages varmemstress hos særligt lakterende søer vil kunne reduceres ved fodring med mere fedt og der kan forskes i særlige sommer foderblandinger. Forskellige fedtkilder vil kunne påvirke produktionen gennem vekselvirkninger med andre næringsstoffer.
- Udvikling af præcisionsfodring til optimering af dyrenes ernæring til deres absolutte behov som del af klimatilpasning. Denne tilgang kan i væsentligt øge deres modstandsdygtighed over for udfordringer med varmemstress, som påvirker alle husdyr. Tilpasning af fodring til individuelle behov kan

navnlig afbøde varmeforøgelser og derved øge fodereffektiviteten og fremme tilpasning til ændret klima.

1.2.2 Klimaregulering

- Klimaregulering af svinestalde. Flere perioder med høje temperaturer medfører lavere produktivitet i svineproduktionen. Højere ventilation eller ventilationsluft rettet direkte mod dyrene kan afhjælpe dette. Luften kan også behandles med tilsætning af forstøvet vand (fordampningskøling) eller anvendelse af "evaporative cooling pads" til den indkommende ventilationsluft. Der er behov for afklaring af behovet for disse tiltag.
- Skygge/klima under afgræsning. Behov for viden om betydning af skygge/lokalt klima for kvægs velfærd udendørs, fx afgræsning i kombination med 'skovdrift', brug af læhegn (evt. lunde) til at skabe skygge og lokalt klima der modvirker ekstrem varme og solpåvirkning.
- Dyretransport, hedebløge og varmemstress. Det er en kendt udfordring at holde temperaturer i lastbiler, som kører med grise til slagtning og eksport, nede under dyrenes grænse for varmemstress. Dette problem forventes at øges. Der er brug for forskning/udvikling af teknologi, som muliggør transport af dyr uden at de udsættes for varmemstress.
- På slagtedagen forlader grise deres hjemmemiljø og kan ikke længere i samme omfang beskyttes mod varmemstress. Dette gør sig gældende såvel under ophold i udleveringsvogne/rum, under transport som under ophold på slagteriet før slagtning, især for søer og slagtesvin. Der er derfor brug for forskning og udvikling med fokus på muligheder for at reducere dyrenes eksponering til varmemstress.
- Varmemstress i relation til plads og opstaldning. Søer i farestier under faring og laktation forhindrer søer i at termoregulere gennem adfærd og er dermed i risiko for varmemstress. Varmemstress reducerer foderindtag og giver lavere mælkeproduktion og pattegrisevækst - og er en risikofaktor for PDS, som er forbundet med høj pattegrisedødelighed. Der er behov for at undersøge hvordan dette kan afhjælpes.
- Varmemstress i relation til voksende grise. Der er en klar sammenhæng mellem varmemstress og den plads, der er nødvendig indendørs for at give grise mulighed for at hvile termisk behageligt på siden. Hvis staltemperaturen ikke kan holdes inden for termoneutrale zone, vil grisene forsøge at hvile væk fra hinanden og optage mere plads i stien. Hvis der ikke er plads, kan det resultere i aggression og tilsmudsning af stien. Der er behov for at undersøge hvordan dette kan afhjælpes.
- Tilpasning af udendørs dyresystemer til fremtidige forhold med øget nedbør. Mudrede og oversvømmede marker udgør en risiko for grises velfærd - ikke mindst for pattegrisene, der har tendens til at undgå at forlade hytterne, når der er for meget mudder. Tilsvarende udfordringer må antages for fjerkræ med adgang til udearealer. Der er behov for mere viden om klovsundhed hos store græssere i våde områder og særligt heste får ofte problemer med hovene, hvis de ofte græsser på fugtigt underlag.
- Sæsonbestemt kælvning i mælkebesætninger. Der er behov for at undersøge om kælvningssæsonen kan ændres, så køerne er mindre udsatte for risiko for varmemstress.

- Afklaring af om det er muligt målrettet at forebygge produktionsforhold, sygdomme og mentale ubalancer, der forårsager ekstra negative effekter for husdyr i perioder med høj risiko for varmemstress (højt temperatur-fugtighedsindeks).
- Der mangler viden om varmemstress og samspil mellem produktion, sundhed, velfærd og reproduktion hos husdyr under danske produktionsforhold. Der er generelt et behov for mere viden om udegående dyrs termiske komfort under danske forhold, og hvordan det interagerer med de gennemgåede virkemidler, herunder træer, som forventes at have en markant positiv effekt på udegående dyrs muligheder for termoregulering.
- Udvikling af nye teknologier til staldindretninger, der kan modvirke effekten af varmere klima. Det kan fx være bedre teknologier til mekanisk ventilation, herunder intern ventilation i åbne kvægstalde, forstøvning af vand. Der vil efterfølgende mangle viden om effekten dels på dyrenes produktion, sundhed og velfærd, dels på emissioner af ammoniak og klimagasser fra stalde og gødningslagre.
- Systemtilpasning i frilandshusdyrproduktionen (herunder økologi) som følge af perioder med enten meget vand på arealerne eller meget tørke/varme, herunder sikring af optimal ernæring, sundhed og velfærd for dyr hvor der er krav om adgang til udearealer, og hvor udearealerne bidrager til dyrenes næringsbehov. Der er behov for forskning og udvikling i forhold til hvilke dyrearter, -racer/genotyper, der er bedst egnede til produktion på friland, bl.a. set i forhold til areal typer og afgrøder under ændrede vejrforhold.

1.2.3 Avl

- Genetisk selektion for større tolerance overfor varmemstress hos malkekøer. Der er behov for registrering af egenskaber knyttet til varmemstress, identifikation af relevante genetiske markører og udvikling af modeller der kan sikre at informationen udnyttes i avlsarbejdet.
- Lokalt tilgængelige foderkilder er muligvis ikke så gode som importerede. Derfor er det afgørende at udvikle lokale foderalternativer med et selektivt avlsprogram, der sigter mod at udvikle dyr, der er modstandsdygtige over for klimaændringer og bedre tilpasset til at udnytte foderalternativer af lav kvalitet til gode produkter som æg, kød eller mælk.
- Evaluering af virkningen af genetisk selektion til produktion på husdyrs stressrobusthed, immunkompetence og sygdomsresistens, for at designe moderne avlsprogrammer for dyr der holdes i mere udsatte og komplekse miljøer (fritgående, økologisk). Der bør overvejes, hvordan Hypothalamus-hypofyse-adrenal (HPA) akse påvirkes af miljøforstyrrelser, hvad er normal dyrevariation og om dyr, der er mere modstandsdygtige, kan karakteriseres fænotypisk og/eller genetisk ved et vist niveau af HPA-akseaktivitet.
- Øget viden om virkningen af mikrobiota-tarm-hjerne-aksen med fokus på stressens rolle for tarmens mikrobielle økologi og tarmsundhed. Genetisk selektion for stressresiliens sker måske ikke så hurtigt som nødvendigt, afhængigt af stressresiliensens arvelighed, og derfor ville det være relevant også at fokusere forskningsaktiviteter på kostinterventioner for at afbøde stressresponsen gennem mikrobiel modulering.
- Behov for viden om hvilke kvægracer der anvendes til naturpleje, der vil være bedst egnede under ændrede klimaforhold med mere nedbør og mere varmemstress.

1.2.4 Sygdomme

- Klimaforandringerne forventes at medføre ændringer i fx insektpopulationer, herunder vektorer for overførsel af infektiøse lidelser. Det drejer sig fx om forskellige arter af myg, blodsugende mitter og flåter etc. Dette vil signifikant øge risikoen for at sygdomme som Vestnilfeber og ikke mindst Japansk Encephalitis (hjernebetændelse), der har svin som amplifikationsvært, vil udgøre en trussel for dansk svineproduktion. Der er brug for kortlægning og overvågning af problemstillingen.
- Infektiøse sygdomme vil øges for en række dyrearter, herunder fjerkræ. Længere perioder med fugtighed og varme vil give gode forhold for formering af bakterier og parasitter inklusive mange af parasiternes mellemværter, hvilket alt andet lige forventes at øge infektionstrykket ikke mindst for dyr med adgang til udendørsarealer. Der er behov for at forskning i tilpasning til flere infektiøse sygdomme.
- Viden omkring reduktion af insektbelastning i områder hvor dyr ikke har mulighed for at komme væk fra belastningen, ved fx udvikling og brug af mobile læskure eller effekt af type beplantning.

1.2.5 Overvågning og beslutningsstøtte

- Beslutningsstøttesystemer til reduktion af varmemstress hos malkekøer. Der er behov for viden om hvorledes varmemstress kan monitoreres og effekterne heraf forhindres eller reduceres. Det kunne være via vejradaptede justeringer af fx salt og bikarbonat tildeling ud fra en tildelingsalgoritme implementeret i digitale foderstyringsværktøjer.
- Udvikling af overvågningsværktøj til varmemstresshåndtering, herunder kontrol af drikkevand, tilgængelighed af velsmagende fodring, skygge i græsgange, reducer solstråler i bygninger, forbedre naturlig ventilation, betingelser for effektiv mekanisk ventilation.
- Digitalisering, fænomik, genomik/multiomik og miljømik er kendetegnende for moderne husdyrbrug, men der er behov for forbedrede procedurer for standardisering og dataintegration (fælles analyse) af forskellige datatyper for at studere samspillet mellem det enkelte dyrs egen biologi, dets miljø, management og produktionssystemer.

1.3 Landskab og kortlægning

1.3.1 Kortlægning og monitorering

- Løbende opdateret af kortlægning af mineraljordens kulstofindhold og kulstofpuljer som forventes påvirket af klimacændringerne, herunder anvendelse af højtopløselige satellitdata (spektral, rumlig), kortlægning af jorden plantetilgængelige vandindhold, kortlægning af jordens kulstof tab/bin-dings kapacitet, samt relationer til jordsundhed (erosion, pakning, mikrobiom, infiltrationskapacitet).
- Forbedret og mere individuel regulering af vandingstilladelser. Kommunerne administrerer tildelingen af vandingstilladelser til individuelle landmænd. Der tages som regel udgangspunkt i en bestemt mængde vand, fx 100 mm til et givet areal. Denne mængde må som udgangspunkt ikke overskrides af landmanden indenfor et enkelt år. I ekstreme år er vandingens behov imidlertid langt højere fx over 200 mm i 2018 på sandjord. Der er behov for en mere individuel regulering byggede på en forbedret hydrologisk modellering og overblik, som kan vejlede kommunerne om

hvorvidt der kan dispenseres fra den fastlagte kvote uden miljømæssige konsekvenser på vandløbene i tørkeår.

1.3.2 Håndtering af vand

- Opsamling af drænvand i bassiner og anvendelse af dette til vanding. Herved kan en stor del (80-90%) af kvælstoffet i drænvandet fjernes/genbruges, hvilket gør dette tiltag til både et kvælstofvirkemiddel og en klimatilpasning. Det kræver dog yderligere udvikling og afprøvning for at klarlægge mulighederne i praksis.
- Landskabsbaserede løsninger på overskudsnedbør. Den kraftigere og øgede nedbør i efterårs- og vintermånederne skaber en lang række problemer både i landbruget og i byerne. Disse omfatter jorderosion, øget risiko for jordpakning, formindsket tid til såning og høst, oversvømmelser i lavninger og langs vandløb. Forbedret dræning kan øge problemerne andre steder i vandløbsoplande. Der er behov for udvikling af helhedstænkning og -løsninger på oplandsniveau, hvor mange tiltag udvikles og samtænkes såsom vådområder, vandreservoirer, kontrolleret dræning, brug af bufferzoner, valg af afgrøder mm.
- Integrere modellering af rumlige, tidsmæssige og topografiske mønstre af vandbevægelse inden for markfladen (herunder samspil med management) med hydrologisk modellering på landskabsniveau for at kvantificere mulighederne for at håndtere overskudsnedbør på forskellig rumlig skala.

1.3.3 Landskabsudnyttelse

- Tilpasning af besætninger til forskellige landskaber på grund af ekstreme vejrforhold. Baseret på dyrenes adfærd (fx hvordan en drøvtygger håndterer noget nyt) kan specifikke individer vælges til specifikke feltforhold med henblik på landskabsbevarelse. Dette kan have konsekvenser for både affektive tilstande (dvs. det enkelte dyr kan være mindre tilbøjeligt til sult eller tørst) og indtag af fodertilskud.
- Skovlandbrug med husdyr i større eller mindre grad. Fokus på dyrearter, -racer i forhold til beplantningstype og beplantningsstrategi (blandingskulturer, monokulturer, træærker mv.), der er tilpasset ustabile vejrforhold. Herunder inddragelse af husdyr i sædskifter ved fx afgrødedyrkning mellem træærker.
- Naturplejesystemer med husdyr, herunder vurdering af strategier for inddragelse af egnede dyretyper under helhedsorienteret værdisætning og hensyntagen til den ønskede natur, klimaregnskab mv., samt dyrenes trivsel i perioder med ekstreme vejrforhold. Vurdering af muligheder for at anvende disse systemer til bevarelse af gamle husdyrracer, som del af dansk kulturarv, og evt. mulighed for anvendelse og afsætning af animalske produkter.
- Vurdering af miljøeffekten udtagning (braklægning) af dyrkningsarealer, med udgangspunkt i aktivitetsdata, herunder den geografiske fordeling af de udtagne arealer samt effekterne på afgrødeproduktion, biodiversitet og næringsstofudledning samt hvordan dette hænger sammen med klimacændringer.
- Undersøgelser af om etablering af træer og buske i landskabet som bl.a. læhegn eller småbiotoper kan medvirke til at modvirke/afbøde de negative effekter af ekstremt klima for afgrødeproduktion.

- Belysning af hvordan træer kan indpasses landskabsøkologisk (fx konturlinje plantninger) og bidrage til landskabets nedbørsretention/forsinket afløb fra landskabet og dermed både minimere skadelige 'søer' på dyrkningsarealet og reducere risikoen for oversvømmelser samt om de kan bidrage til at fastholde af vandressourcer lokalt og undgå oversvømmelser og evt. bidrage til at reducere negative effekter af senere tørkeperioder lokalt.
- Fremtidens kraftige regnfald kan forårsage erosion, oversvømmelse og tab af næringsstoffer og jord. Der er stor forskel i jordens infiltrationskapacitet for vand i forskellige dyrkningssystemer, og den kan være dobbelt så høj i flerårige afgrøder (træer, buske, græsarealer, lucerne m.m.) som i enårige afgrøder, hvor makroporer forstyrres hvert år. Der er behov for øget viden om specifikke forskelle mellem afgrøder, jordtyper og management.
- Undersøgelse af hvilke afgrøder der kan opnå fordele af fx læ i fremtidens klima, herunder hvordan der opnås største positiv effekt med mindst muligt arealudtag til træplantning eller andre læhegn (fx Agrovoltaic), herunder potentielle effekter på biodiversitet.
- Agrivoltaic er en alternativ måde at skabe læ til afgrøder. Specielt opstilling af vertikale eller tracking paneler af solceller kan sikre godt læ med et meget begrænset arealtab til solcellerne. Der er behov for afprøvning med et spænd af afgrøder, herunder højværdiafgrøder såsom grønsager og bær.
- Udvikling af nyt klimatilpasset sortiment af arter og sorter af træer og buske til brug i læhegn og landskab, frugtavl og havebrug tilpasset til et mere ekstremt klima (temperatur ekstrem) med brug af andre genetiske ressourcer i bær og frugt.
- Viden om vedplantegenetik der kan udnytte længere vækstsæsoner og højere temperatursummer, men også hvordan frøsetning og frøforsyning hos vigtige landskabstræarter påvirkes af klimaforandringer, herunder bl.a. betydning af forårsfrost før og under blomstringen på frøudvikling.
- Der er behov for undersøgelser på landskabsskala af hvordan robusthed over for klimaforandringer og andre typer af choks kan gå hånd i hånd med en effektiv produktion af fødevarer og andre biobaserede goder. Dette kan involvere bedre planlægning, nye teknologier og viden om synergi og afbødningseffekter ved mere diverse produktionssystemer, integreret på landskabsniveau, og med flere permanente afgrøder såsom græs og træer i skovlandbrugssystemer.

1.4 Miljøpåvirkning

- Ammoniakemissioner ved udbringning af gødning (mineralsk og organisk) under ekstreme forhold (fx tørkeperiode eller meget våde perioder). For at undgå for stort ammoniaktab og dermed lavere udbytte under ekstreme eller meget forandrede vejrforhold har vi brug for at forbedre nuværende modeller og emissionsestimater for bedre at kunne estimere effekten af udbringningstidspunktet så det bliver muligt at anvende application timing management systems (ATMS) som beslutningsstøtteværktøj med en tilpas høj nøjagtighed for reduktionseffekterne.
- Belysning af effekter af ændret temperatur og nedbør på kvælstofomsætning i jord og den resulterende kvælstofudvaskning. Der er behov for at de anvendte modeller til regulering af kvælstofudvaskning også inkluderer effekter af ændringer i temperatur og ekstreme klimaforhold.

- Undersøgelser og modellering af effekter af ændrede nedbørforhold for fosformobilisering og transport i landbrugslandskabet og hvordan dette kan modvirkes gennem ændringer i dyrkning og håndtering af drænvand.
- Udvikling af differentierede virkemidler til miljøregulering i scenarier for klimacændringer for hele landskaber, med løsninger til optimering af forskellige produktionssystemer, teknologier og areal-anvendelsers placering og implementering.

1.5 Socioøkonomi

- Forskning og udvikling af nye former for forsikring mod klimaekstremer, der vil kunne afbøde drifts-økonomiske trusler for forskellige typer landbrugsbedrifter.
- Bedre forståelse for de drifts- og samfundsøkonomiske omkostninger ved ændringer i klimaekstremer og deres effekter på landbrugs- og fødevarerproduktion, herunder konkurrenceforhold på fødevaremarkederne.
- Belysning af de samfundsøkonomiske effekter af klimacændringer i forhold til at opnå målsætninger inden for miljø-, klima- og biodiversitetseffekter af landbrugsproduktion.

Referencer

- Andersen MN, Olesen JE, Holst N, Skovgaard H, Kudsk P, Jørgensen LN, Børgesen CD, Munkholm LJ, Iversen BV, Gregersen PL, Holme I, Brinch-Pedersen H, Kongsted AG, Børsting CF, Sørensen JT, Henriksen B, Callesen H, Woyengo T, Ejrnæs R, Fløjgaard C, Krogn PH, Willumsen TM, Adamsen AP, Rasmussen MD, Guldborg LB, Rong L. 2023. Vidensyntese om klimatilpasning og landbrug. 123 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 23.08.2023.
- Godde CM, Mason-D’Croz D, Mayberry DE, Thornton PK, Herrero M. 2021. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. *Global Food Security* 28, 100488.
- Ossó A, Allan RP, Hawkins E, Shaffrey L, Maraun D. 2022. Emerging new climate extremes over Europe. *Climate Dynamics* 58, 487-501.
- Pullens JWM, Sharif B, Trnka M, Balek J, Semenov M, Olesen JE. 2019. Risk factors for European winter oilseed rape production under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 272-273, 30-39.
- Thejll P, Boberg F, Schmith T, Christiansen B, Christensen OB, Madsen MS, Su J, Andree E, Olsen S, Langen PL, Madsen KS, Olesen M, Pedersen RA, Payne MR. 2021. Methods used in the Danish Climate Atlas. *DMI Report* 21-41.
- Thornton P, Nelson G, Mayberry D, Herrero M. 2021. Increases in extreme heat stress in domesticated livestock species during the twenty-first century. *Global Change Biology* 27, 5762-5772.
- Trnka M, Rötter R, Ruiz-Ramos M, Kersebaum KC, Olesen JE, Zalud Z, Semenov MA. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change* 4, 637-643.

- Trnka M, Hayes M, Jurečka F, Bartošová L, Anderson M, Brázdil M, Brown J, Camarero JJ, Cudlín P, Dobrovolný P, Eitzinger J, Feng S, Finnessey T, Gregorič G, Havlik P, Hain C, Holman I, Johnson D, Kersebaum KC, Ljungqvist C, Luterbacher J, Micale F, Hartl-Meier C, Možný M, Nejedlik P, Olesen JE, Ruiz-Ramos M, Rötter RP, Senay R, Serrano SMV, Svoboda M, Susnik A, Tadesse T, Vizina A, Wardlow B, Žalud Z, Büntgen U. 2018. Priority questions in multidisciplinary drought research. *Climate Research* 75, 241-260.
- Trnka M, Balek J, Semenov MA, Semerádová D, Belinová M, Hlavinka P, Olesen JE, Eitzinger J, Schaumberger A, Zahradníček P, Kopencký D, Zalud Z. 2020. Future agroclimatic conditions and implications for European grasslands. *Biologia Plantarum* 64, 865-880.
- Zhao J, Bindi M, Eitzinger J, Ferrise R, Gaile Z, Gobin A, Holzkämper A, Kersebaum KC, Kozyra J, Loit E, Nejedli P, Nendel C, Niinemets U, Palosuo T, Peltonen-Sainio P, Potopova V, Ruiz Ramos M, Reidsma P, Rijk B, Trnka M, Van Ittersum M, Olesen JE. 2022. Priority of adaptive measures to climate change in European crop production systems. *European Journal of Agronomy* 138, 126516.