

# Nordisk landbrug i en meget varmere verden

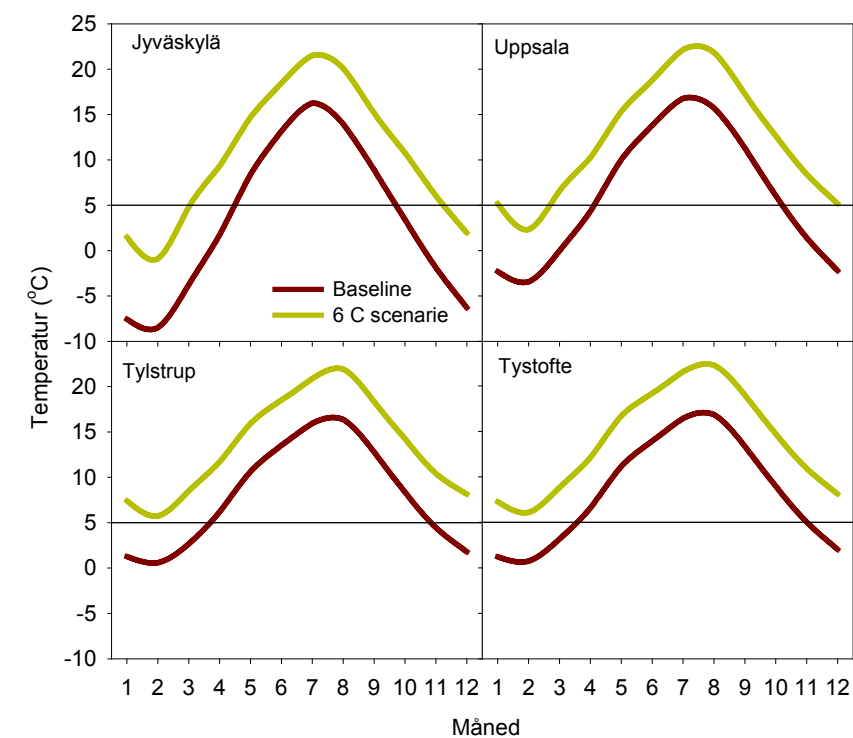
Klimaændringerne forventes i stort omfang at ændre betingelserne for naturressourcer og dermed for landbrug i Norden. Klimaændringerne skaber både nye risici og muligheder for nye produktionssystemer. I modsætning til andre steder på jordkloden vil selv kraftige klimaændringer kunne øge landbrugets produktionspotentiale i Norden.

JØRGEN E. OLESEN, JOHN R. PORTER,  
MANUEL MONTESINO SAN MARTIN,  
MOHAMED JABLON, ISIK ÖZTÜRK &  
MIROSLAV TRNKA

## Introduktion

Effekter af klimaændringer går ikke kun gennem direkte effekter på afgrødernes udbytter, men også på effekter af produktionen på miljøet, især i forhold til forurening af grundvand og overfladevand. Samtidig spiller ændringer i muligheder for eksport af højværdiprodukter en stor rolle for landbrugsproduktionen, ikke mindst i velstående lande som de nordiske. I det omfang betingelserne for en sådan produktion forringes eller bliver mere usikker i lande under sydligere himmelstrøg, vil dette kunne styrke fødevarersektoren i Danmark og resten af Norden.

Norden er det eneste sted på kloden, hvor de klimatiske forhold tillader produktivt landbrug på høje breddegrader med mørke vintre. Denne unikke geografiske placering gør det vanskeligt at overføre viden fra andre dele af verden til de miljømæssige forhold i Norden, hvor både planter og dyr er tilpasset til at overleve lange, mørke og kolde vintre. I store dele af regionen vil de forventede klimaændringer betyde varmere vintre med øget variabilitet i form af regn, sne og isdække. Dette vil udgøre en udfordring for de nuværende produktionssystemer og kræver nye



Figur 1. Gennemsnitlig månedlig temperatur for fire klimastationer i Norden under nuværende klima og under 6°C-scenariet.

løsninger for både plante- og husdyrproduktionen.

Opvarmningen vil føre til et vinterklima, der ligger ud over de forhold, der for nuværende er kendte og forståede. Virkningerne af sådanne ændringer er vanskelige at forudsige, og der er kun lidt forskning at basere vurderinger af potentielle virkninger på økosyste-

mernes funktion, og hvordan dette vil påvirke landbrugsproduktionen. Her tager vi udgangspunkt i et klimascenarie hvor den globale middeltemperatur stiger med 6°C med henblik på at vurdere hvordan dette vil påvirke vilkårene for planteproduktion i Norden. Mange steder i verden må dette forventes at føre til betydelige udbyttefald i landbrugsaf-

grøderne /1/. Spørgsmålet er om dette også vil være tilfældet i Norden, hvor klimaet for nærværende er så køligt at det bremser for dyrkning af en række afgrøder. Vi har valgt at fokusere på vinterhvede, som dyrkes over det meste af kloden, også i Norden.

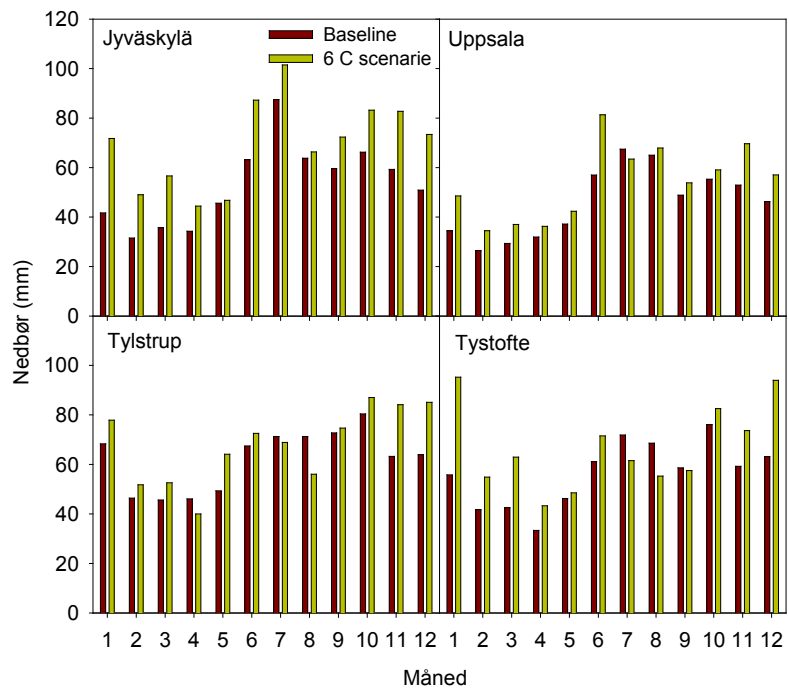
## Klima og grundlaget for planteproduktion

Vi baserer vores analyse på et klimascenarie med den globale klimamodel EC-Earth. CO<sub>2</sub> koncentrationen er specificeret til at stige med 1 % om året, indtil den globale middeltemperatur er steget med 6°C. For at få en bedre rumlig beskrivelse af klimaet er der efterfølgende lavet en beregning med den regionale klimamodel HIRHAM5, som dækker Europa. Denne model har en rumlig opløsning på ca. 25 km og vi har udvalgt klima for fire steder i Norden; Jyväskylä i det sydlige Finland, Uppsala nord for Stockholm, Tylstrup i Nordjylland og Tystofte på Sydsjælland.

Planternes vækst kan især være begrænset af tre forhold: 1) passende temperatur, 2) tilstrækkelig nedbør og 3) solstråling til at sikre fotosyntesen. Ved temperaturer under ca. 5 grader (som markeret i Figur 1) vil væksten være begrænset i de fleste plantearter. Figur 1 viser at vækstperiodens længde øges betydeligt i hele Norden ved en temperaturstigning på 6 grader. I Danmark vil det selv midt om vinteren ikke være koldt nok til at plantevæksten begrænses /2/. Længere nordpå i Sverige og Finland vil der dog fortsat være en periode midt vinter hvor lave temperaturer og manglende lys begrænser plantevæksten, men dette til trods øges vækstperiodens længde betydeligt under 6 graders scenarieret. I klimascenariet er vækstperioden således længere i Finland end den er for det nuværende klima i Danmark. Den længere vækstperiode øger i princippet mulighederne for planteproduktion, forudsat at der er tilstrækkelig med nedbør og solstråling.

I de nordiske lande er nedbøren nogenlunde ligeligt fordelt over hele året (Figur 2), og med klimaændringsscenarioet stiger nedbørmængden i alle måneder i Sverige og Finland, og i langt de fleste måneder i Danmark. Alle steder øges nedbørmængden især om vinteren. Et varmere klima vil dog medføre betydelige stigninger i fordampningen, således at risikoen for tørke om sommeren øges. Det vil øge presset for vanding, især for afgrøder med en længere vækstperiode.

Solstrålingen følger stort set samme årlige variation ved alle de valgte klimastationer i Norden (Figur 3). Solstrålingen er særlig lav i november til januar, mens den er tilstrækkelig høj plantevækst fra marts og fremefter. En for-



**Figur 2.** Gennemsnitlig månedlig nedbør for fire klimastationer i Norden under nuværende klima og under 6°C scenarieret.

længelse af planternes vækstsæson i det tidlige forår under et varmere klima vil derfor øge mulighederne for planteproduktion. I 6 graders scenarieret sker dette overalt i Norden, men dog mest udpræget i Danmark.

## Vinterhvede

Udbyttet i afgrøder som vinterhvede afhænger ikke kun af klimaet i de forskellige måneder, men også af vækstperiodens længde. Men de valgte scenarier ændres så tidligt fra midt september til ultimo oktober, blomstring fra midt juni til sent i maj og modenhed fra primo august til primo juli. Hermed øges efterårsperioden med bar jord mellem høst af afgrøden til såning af den næste vintersædsafgrøde med mere end et par måneder.

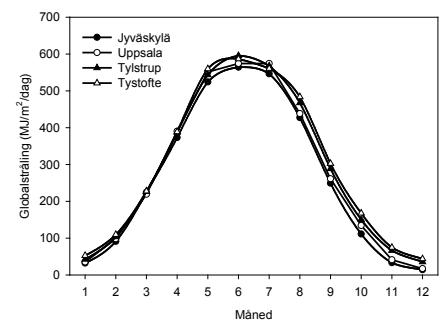
Med den senere såning og tidligere høst af kornafgrøden kunne det forventes at udbyttet vil falde under 6 graders scenarieret. For at undersøge dette nærmere har vi beregnet udbyttet i vinterhvede med tre forskellige simuleringsskemaer, der været anvendt til sådanne analyser i Danmark og Norden (AFRC /3/, Daisy /4/ og FASSET /5/). Modellerne er brugt på de fire lokaliteter for en sandblandet lerjord og vi har for 6 graders scenarieret kørt modellerne både med og uden forhøjet CO<sub>2</sub>, som jo har en gunstig effekt ikke kun på planternes fotosyntese, men som også mindsker planternes vandforbrug.

Modellerne afviger i udbyttens niveau i udgangssituationen i Finland, hvor afgrøden i AFRC modellen aldrig modner og derfor ikke kan beregnes at give et udbytte. Også FASSET

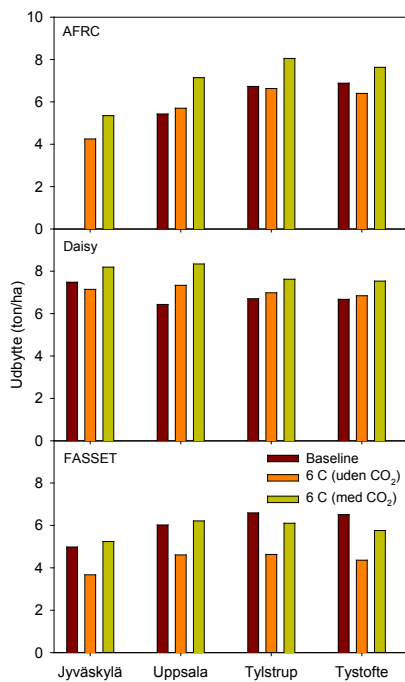
modellen giver lave udbytter her, men Daisy beregner de højeste udbytter i Finland, dog formentlig på en afgrøde der næppe når at modne helt af. Modellerne varierer noget i deres respons på klimaændringerne uden øget CO<sub>2</sub>. Daisy giver en lille udbyttestigning, AFRC giver stort set uændrede udbytter og FASSET giver et udbyttetab. Disse afvigelser mellem modeller er i overensstemmelse med en sammenligning af mange hvedemodeller under mere varme himmelstrøg /6/. Her var variationen betydelig, når temperaturen blev øget med 6°C. Med øget CO<sub>2</sub> giver både AFRC og Daisy udbyttestigninger på alle lokaliteter, mens dette kun er tilfældet for Sverige og Finland med FASSET modellen.

## Ekstremhændelser

Udbyttet i landbrugsafgrøderne vil ikke kun være betinget af de generelle klimaforhold. En række ekstremhændelser som regn under såningen, frost, intens tørke, kraftig regn



**Figur 3.** Gennemsnitlig månedlig globalstråling for fire klimastationer i Norden.



**Figur 4.** Modelberegnete gennemsnitsudbytter for vinterhvede med tre simuleringmodeller (AFRC, Daisy og FASSET) for baseline klima og for 6°C scenariet uden og med effekt af øget CO<sub>2</sub> på plantevækst.

under afmodningen, og varmemstress under og efter blomstringen kan i betydelig grad skade afgrøden og føre til store udbyttetab [7]. Her har vi for hvede beregnet risikoen for disse faktorer under både det nuværende klima og 6 graders scenariet (Figur 5). Dette er beregnet som antal dage med mulighed for kritiske klimatiske forhold.

Figuren viser er der generelt kun er små ændringer i risikobilledet. Risikoen for frost øges markant i Finland, hvilket skyldes at der under det ændrede klima vil være et betydeligt mindre snedække og dermed mere barfrost, der potentielt kan skade afgrøden. Omfanget af kraftig regn øges en smule de fleste steder, men dog ikke i noget skadende omfang. Derimod mindskes risikoen for intens tørke, hvilket især skyldes at vækstsæsonen skubbes ca. en måned frem i tid, og herved undgås perioden med høj fordampning i juni og juli at påvirke afgrøden. I det hele taget skyldes de neutrale effekter på både beregnet udbytte og på indikatorerne for ekstremer at vækstsæsonen forskubbes i tid til en periode hvor der stadig er gunstige lysforhold for planteproduktion, men uden alt for høje og skadelige temperaturer. Det skal dog understreges, at dette er baseret på modelberegninger, som bør understøttes med eksperimentelle data, og her har vi pt. et hul i vores viden.

## Nye afgrøder og nye muligheder

Den længere og varmere vækstsæson åbner for dyrkning af nye afgrøder. I Norden vil der i de nordlige egne være en stigning i landbrugsafgrøder i almindelighed, mens ændringerne i Danmark især vil være ændringer i form af dyrkning af varmekrævende afgrøder som f.eks. majs. Og med en temperaturstigning på 6 °C åbner der sig mange nye muligheder for soyabønne, solsikke, vin m.v. Over hele Norden vil en så betydelig temperaturstigning betyde at varmekrævende afgrøder som majs vil kunne brede sig til et meget stort område og så langt som det nordlige Sverige og Finland (Figur 6). Dette giver selv sagt nye landbrugsmæssige muligheder og potentiale for øget landbrugsproduktion.

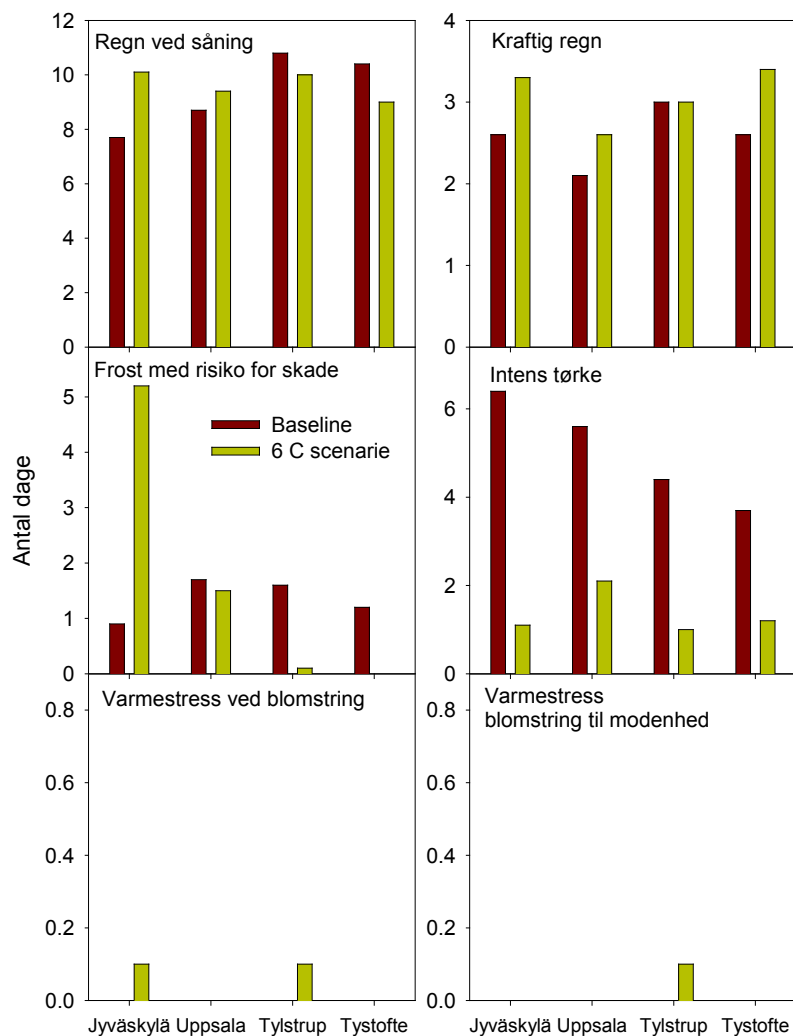
## Norden som klimamæssigt smørhul

Meget tyder på at effekterne af klimaændringer på landbruget vil være betydeligt mere positive i Norden end for mange andre steder

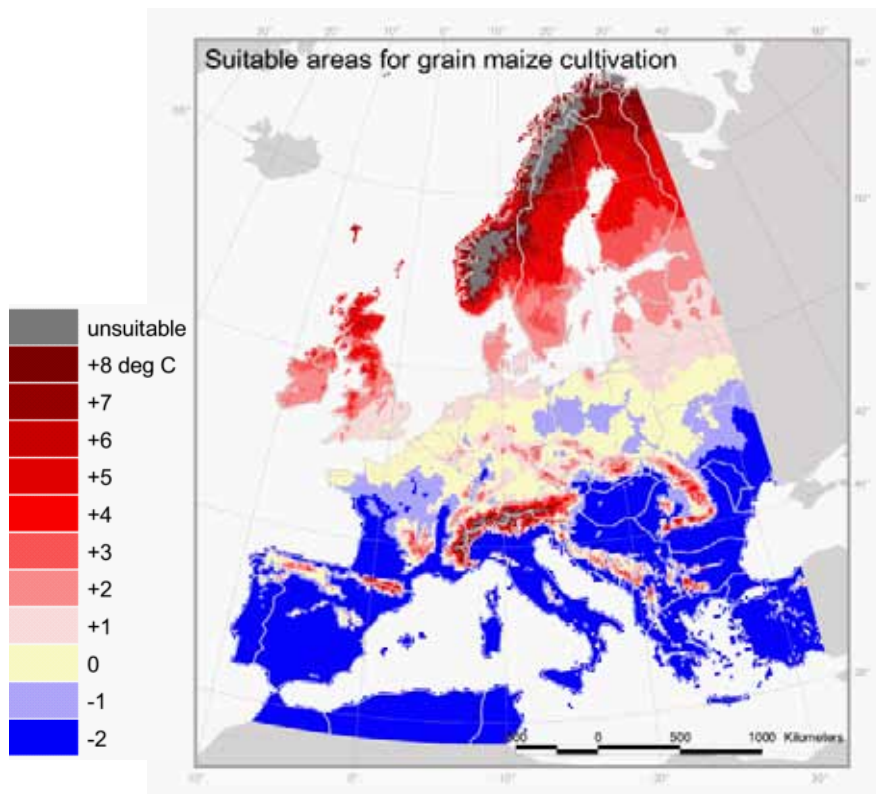
i verden. Det giver nye muligheder og vil også føre til et pres for opdyrkning af nyt landbrugsland, ikke mindst i Sverige, Norge og Finland, ofte på bekostning af den eksisterende skov. Medvirkende til dette pres er både den voksende globale efterspørgsel efter fødevarer og klimaændringernes negative konsekvenser for landbrugets produktivitet under sydlige himmelstrøg. Konsekvenser kan blive øget pres på vandressourcer til vanding og forværrede forhold for bl.a. vandmiljøet, hvor især Østersøen allerede nu er alt for stærkt belastet af næringssalte fra bl.a. landbruget. Der er derfor behov for udvikling af nye dyrkningsmetoder, hvis dette klimamæssige eventyr skal kunne udnyttes fornuftigt af Nordiske landmænd.

## Referencer

/1/ Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., og Chhetri, N., 2014. A meta-analysis of crop yield under climate. Nature Climate Change 4, 287-291.



**Figur 5.** Gennemsnitligt antal dage med kritiske klimahændelser som kan påvirke udbyttet af vinterhvede negativt for baseline klima og for 6 °C scenariet.



**Figur 6.** Temperaturbetinget egnethed for dyrkning af kernemajs ved forskellige niveauer for øget middeltemperatur. Ved øget temperatur vil nogle af områder i Sydeuropa blive uegnede som følge af tørke og vandmangel.

/2/ Thomsen, I.K., Lægdsmand, M., og Olesen, J.E. 2010. Crop growth and nitrogen turnover under increased temperatures and low autumn and winter light intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 187-194.

/3/ Montesino-San Martin, M., Olesen, J.E., og Porter, J.R. 2014. A genotype, environment and management (GxExM) analysis of adaptation in winter wheat to climate change in Denmark. *Agricultural and Forest Meteorology* 187, 1-13.

/4/ Børgesen, C.D., og Olesen, J.E. 2011. A probabilistic assessment of climate change impacts on yield and nitrogen leaching from winter wheat in Denmark. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11, 2541-2553.

/5/ Patil, R., Lægdsmand, M., Olesen, J.E., og Porter, J.R. 2012. Sensitivity of crop yield and N losses in winter wheat to changes in mean and variability of temperature and precipitation in Denmark using the FASSET model. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Plant and Soil* 62, 335-351.

/6/ Asseng, A., Ewert, F., Rosenzweig, C., Jones, J.W., Hatfield, J.L., Ruane, A., Boote, K.J., Thorburn, P., Rötter, R.P., Cammarano, D., Brisson, N., Basso, B., Martre, P., Aggarwal, P.K., Angulo, C., Bertuzzi, P., Biernath, C., Challinor, A.J., Doltra, J., Gayler, S., Goldberg, R., Grant, R., Heng, L., Hooker, J., Hunt, L.A., Ingwersen, J., Izaurralde, R.C., Kersebaum, K.C., Müller, C., Kumar, S.N., Nendel, C., O'Leary, G.O., Olesen, J.E., Osborne, T.M., Palosuo, T., Priesack, E.,

Ripoche, D., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Steduto, P., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Travasso, M., Waha, K., Wallach, D., White, J.W., Williams, J.R., og Wolf, J. 2013. Uncertainties in simulating wheat yields under climate change. *Nature Climate Change* 3, 827-832.

/7/ Trnka, M., Rötter, R., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K.C., Olesen, J.E., Zalud, Z., og Semenov, M.A. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change* 4, 637-643.

JØRGEN E. OLESEN (JorgenE.Olesen@agrsci.dk) er professor ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

JOHN R. PORTER (jrp@plen.ku.dk) er professor ved Københavns Universitet, Institut for Plante- og Miljøvidenskab  
MANUEL MONTESINO SAN MARTIN (manuelmontesino@plen.ku.dk) er PhD studerende ved Københavns Universitet, Institut for Plante- og Miljøvidenskab

MOHAMED JABLON (Mohamed.Jabloun@agrsci.dk) er PhD studerende ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

ISIK ÖZTÜRK (Isik.Ozturk@agrsci.dk) er postdoc ved Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi

MIROSLAV TRNKA (mirek\_trnka@yahoo.com) er professor ved Mendel University in Brno, Institute of Agriculture Systems and Bioclimatology & Global Change Research Centre, Czech Academy of Sciences, Brno, Tjekkiet