

De lyshungrende spirer, der bøjer sig mod lyset, illustrerer med al tydelighed, hvorfor det for mange planter gælder om at nå højst op og få uhindret adgang til det livgivende lys.

Foto: Shutterstock



PLANTERS HEMMELIGE LIV I SKYGGEN AF ANDRE

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com

Planter kan ikke bevæge sig ud i sollyset, når andre skygger for dem, så de må i stedet vokse opad i et forsøg på at nå Solens stråler. Dansk forskning viser, hvad der sker på det genetiske niveau, når planter forsøger at undslippe et liv i skyggen af andre.

For planter er én ting vigtige end alt andet, og det er lyset fra Solen. Solens lys er grundlaget for fotosyntesen, hvor planter omdanner sollys og vand til vækst. Hvis ikke planter får den mængde sol, som de skal bruge, vokser de ikke, og vokser planterne ikke, er der ikke noget at spise for dyrene. Det er ikke svært at forestille sig, hvordan verden ville se ud, hvis ikke Solen kastede sit livgivende lys på klodens planter.

Det er dog ikke altid lige let for planter at få adgang til sollys. Kampen om sollyset er for planter lige så voldsom og brutal som kampen mellem løver og gazeller på savannen. Det drejer sig om at kvæle de andre planter ved at tage sollyset

fra dem eller prøve at undslippe de planter, der vil beholde sollyset for sig selv ved at være højest og størst.

For planter, der i modsætning til dyr ikke kan bevæge sig, er der kun én mulighed, når det kommer til at undslippe andres skygge, og det er at vokse opad – højere og højere – indtil Solens stråler igen falder på bladene.

Umiddelbart lyder det meget simpelt, men på det genetiske niveau sker der hundredvis af mikroskopiske justeringer i molekylærbio-logiske signalveje, og det sender planten opad i raket fart. Danske forskere har inden for de seneste år løftet en smule af sløret for, hvordan planterne genetisk gør

det, og den viden kan fremadrettet benyttes til bedre at forstå planters liv i skyggen i andre. Indsigten kan også have praktiske implikationer inden for eksempelvis afgrødedyrkning.

»For langt de fleste planter gælder det, at de ikke vokser alene, men sammen med andre. Derfor er der konstant kamp om adgang til sollyset, men vi har ikke før nu haft en god forståelse af, hvordan planter genetisk reagerer på at være i skyggen. I vores forskning er vi kommet tættere på en forståelse af, hvordan planter tilpasser deres genetik, så de lettere kan søge efter lys uden for andre planters skygge,« fortæller lektor Stephan Wenkel fra Sektion for Plantebiokemi ved Københavns Universitet.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk



Rødt lys får planter til at gå i panik og vokse hurtigere

Når planter skal ud af andre planters skygge, sætter de alle ressourcer ind på at vokse opad, og det har indflydelse på deres generelle morfologi. Mange haveejere har måske set, hvordan nogle planter, der er i tæt konkurrence med andre om sollyset, vokser sig højere og mere spinkle, end de ellers ville.

»Sådan er det selvfølgelig ikke for alle planter. Der findes jo som eksempel masser af plantearter i skovbunden i junglen, og de har tilpasset sig til et liv i skyggen af andre. Men rigtig mange planter er afhængige af direkte sollys, og for dem er det en katastrofe, hvis andre planter permanent blokerer for dem,« forklarer Stephan Wenkel.

Når forskere skal studere de solhungrende planter i laboratoriet, gør de meget simpelt det, at de lader nogle planter vokse i hvidt lys, hvilket modsvarer det at bade i Solens stråler. Andre lader de vokse

i rødt lys med over 700 nm i bølglængde. Det svarer i lysintensitet til at vokse i skyggen af andre planter.

Efterfølgende kan forskerne observere, hvordan de forskellige lysforhold har en helt klar effekt på planternes vækst. Planterne i hvidt lys vokser som deres modstykker ude på marken, mens planter i det røde lys sætter turbo på væksten og vokser sig højere og højere, fordi de tror, at andre skygger for dem.

»Som reaktion på skygge udløser planter en kompleks vækstreaktion for at udkoncurrere rivaliserende planter. Vi ved en hel del om de signaleringskaskader, der medieres af fotoreceptorer, og om de fysiologiske reaktioner, der forekommer på celleniveau. Men vi ved til gengæld ikke meget om de reaktioner, der forekommer i specifikke væv. I dette forsøg har vi undersøgt, hvilken rolle bestemte transkriptionsfaktorer har for væksten af planten *Arabidopsis*,« forklarer Stephan Wenkel.

Transkriptionsfaktorer er proteiner, der binder til og regulerer udtrykket af givne gener. Transkriptionsfaktorerne kan binde til et gen og sørge for, at det bliver udtrykt eller det modsatte, altså slukke for genet. På den måde kan celler sagtens indeholde en masse gener for både det ene og det andet, men de kommer aldrig til udtryk, med mindre transkriptionsfaktorerne tillader det.

Stephan Wenkel og ph.d.-studerende Maurizio Chiurazzi diskuterer forskningsarbejdet i laboratoriets vækstkammer.

Foto: Stephan Wenkel.



Spirer af dild-planter, hvor spiren til venstre er groet i hvidt lys, mens den til højre er groet i rødt lys svarende til skygge.

Foto: Stephan Wenkel.



**DANMARKS FRIE
FORSKNINGSFOND**
INDEPENDENT RESEARCH
FUND DENMARK

Et kig i forskernes værktøjskasse

Når forskere skal blive klogere på, hvordan planter tilpasser sig forskellige forhold i miljøet, benytter de sig blandt andet af en teknik kaldet ChIP_seq, der står for "chromatin immunoprecipitation (ChIP) followed by next-generation sequencing (seq)".

ChIP_seq går meget simpelt ud på at afsløre, hvor på genomet eksempelvis transkriptionsfaktorer binder. På den måde kan forskere identificere, hvilke gener blandt andet REVOLUTA og KANADI1 regulerer som et respons på, at en plante befinder sig i skygge.

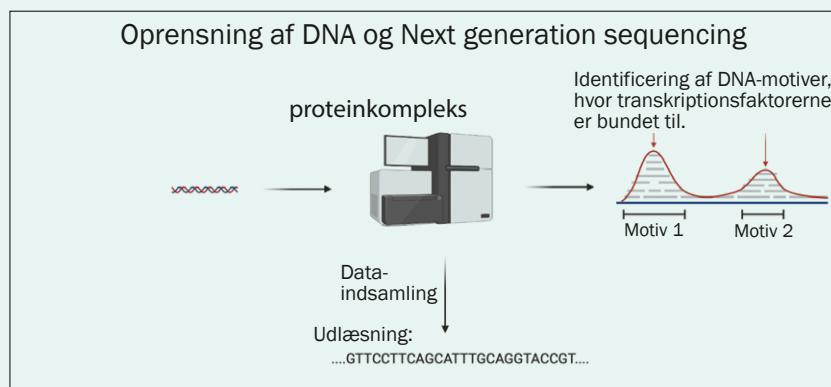
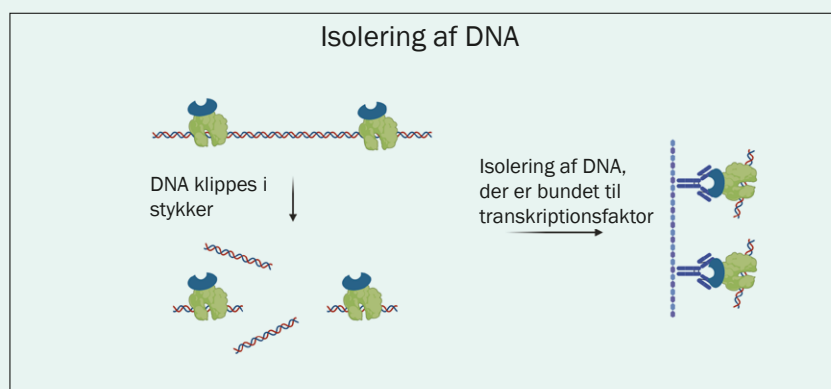
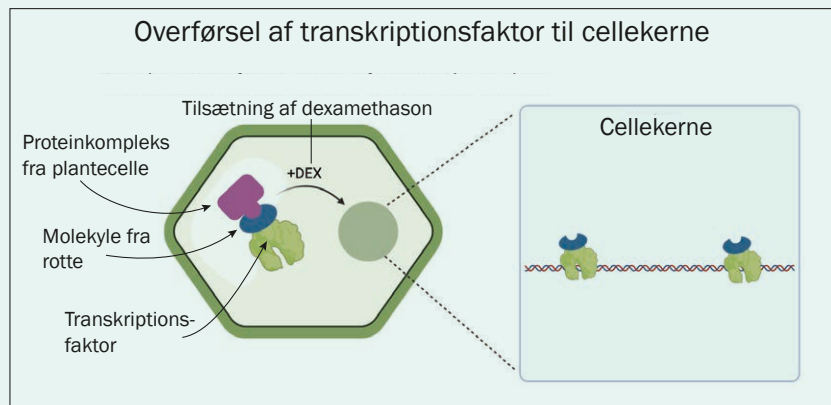
I forskningen har Stephan Wenkel med sine kollegaer lavet transgene planter, hvori de har modificeret planternes gener, så de overudtrykker REVOLUTA og KANADI1. Derudover har forskerne koblet transkriptionsfaktorerne til et molekyle fra rotter (en receptor for glukokortikoid hormoner), som gør, at transkriptionsfaktorerne bliver i plantecellernes cytoplasma og ikke kan komme ind i cellekernen. Når transkriptionsfaktorerne ikke kan komme ind i cellekernen, kan de heller ikke udøve en effekt på generne.

Koblingen mellem glukokortikoid-receptorerne og transkriptionsfaktorerne kan dog brydes, når forskerne sprøjter planterne med glukokortikoid-lægemidlet dexamethason. Derved bliver transkriptionsfaktorerne frigivet, så de kan komme ind i cytoplasmaet og have en effekt.

Forskerne kan benytte teknikken til meget nøjagtigt at afdække, hvilke gener der er under indflydelse af transkriptionsfaktorerne.

Først lader forskerne planterne vokse som normalt. Derefter sprøjter de dexamethason på dem for at få transkriptionsfaktorerne til at sætte sig på DNA'et. Efterfølgende udsætter de planterne for formaldehyd, hvilket fikserer transkriptionsfaktorerne på DNA'et.

Til sidst, men ikke mindst, hugger forskeren DNA'et i meget små styk-



Figurene illustrerer de principielle trin i teknikken ChIP seq. Illustration: Stephan Wenkel/BioRender

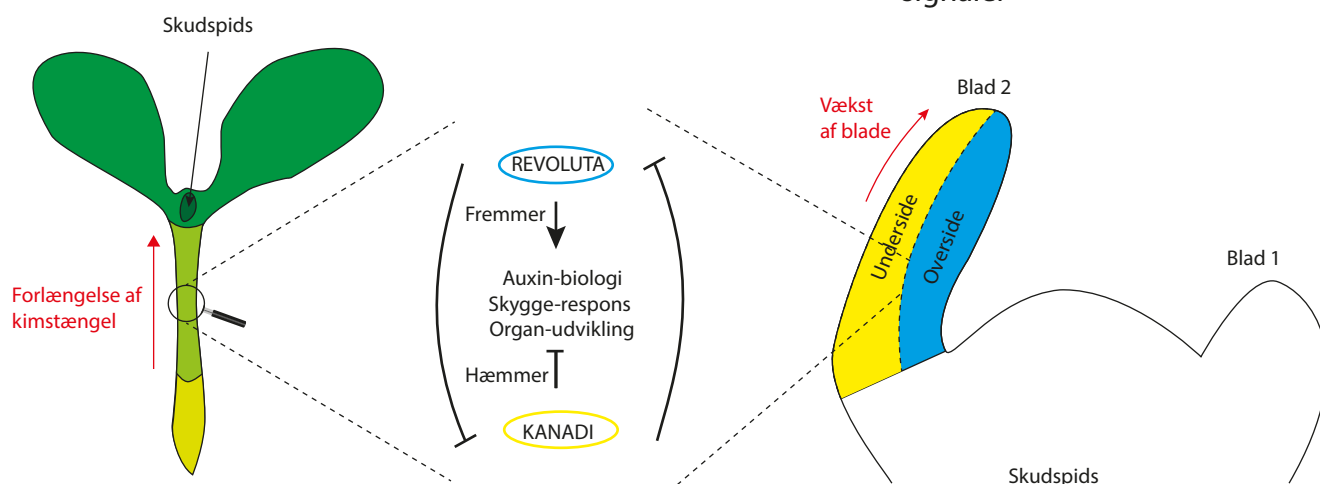
ker. Stumperne af DNA vil så enten have transkriptionsfaktorer påsat eller ej. Forskerne kan isolere de stumper af DNA, som har transkriptionsfaktorer påsat, og derefter sekventere DNA-stumperne. På den måde kan de se, hvilke gener transkriptionsfaktorerne sidder fast på og dermed aktiverer. Forskerne kan endda identificere de specifikke genetiske byggesten i arvemassen, som transkriptionsfaktorerne benytter til at binde fast til DNA'et.

Denne dybdegående forståelse af koblingen mellem transkriptionsfaktorer og arvemasse kan forskere

udnytte til at både at lave mere præcise eksperimenter og designe eksempelvis nye afgrøder. Som eksempel kan en transkriptionsfaktor regulere både generne A, B og C. Det vil sige, at hvis man vil slukke for genet B og piller ved den relevante transkriptionsfaktor, vil man også slukke for generne A og C. Men ved at kende til den præcise binding mellem transkriptionsfaktoren og generne A, B og C skal forskerne kun ændre en lille smule i den genetiske sekvens for at få transkriptionsfaktoren til ikke at kunne binde til B, mens den samtidig kan binde til A og C.

Skygge

Udviklingsmæssige signaler



Vækstfaktorerne REVOLUTA og KANADI1 spiller en vigtig rolle som regulatorer af planters skyggerespons og bladudvikling. Begge faktorer udtrykkes i både i planternes anlæg til stængel og blade (kimstængel og kimblade). Proteinerne vil her udtrykkes i et polært mønster, således at REVOLUTA udtrykkes i bladets overside og KANADI1 i undersiden.

Begge vækstfaktorer regulerer det samme sæt af gener, men med modsatrettet effekt: REVOLUTA virker således aktiverende på generne, mens KANADI1 hæmmer, at generne kommer til udtryk. Auxin-biologi refererer her til plantehormonet auxin og de processer, det er involveret i vedrørende udvikling af både blade og de celler, som opbygger stænglen.

Kilde: *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 35, pp 111-116.

Transkriptionsfaktorer regulerer planters vækst under skyggeforhold

I forskningen har Stephan Wenkel med sine kollegaer studeret, hvordan transkriptionsfaktorerne REVOLUTA og KANADI1 regulerer gener med relevans for plantens reaktion til det at være i skyggen. REVOLUTA og KANADI1 er kendt for at være relevante for dannelsen af forskellige strukturer i blade.

Helt specifikt har forskerne i deres forøg gjort det, at de har lavet mutanter af *Arabidopsis* med mutationer i de to nævnte transkriptionsfaktorer. Efterfølgende har de undersøgt, hvordan planterne opfører sig under forskellige lysforhold.

»Vores forsøg viste for det første, at planter med mutationer i REVOLUTA og KANADI1 havde et svagere skyggerespons hvilket betød, at de i rødt lys ikke voksede så

meget som vildtyperne,« fortæller Stephan Wenkel.

Ydermere undersøgte forskerne de morfologiske ændringer i planterne, når transkriptionsfaktorerne var aktive i tilfælde af skygge. Transkriptionsfaktorerne er i blade involveret i dannelsen af vandtransporterende rør, der fungerer ligesom blodårer i mennesker. I planter hedder det karvæv eller xylem.

I forskningen fandt Stephan Wenkel med sine kollegaer ud af, at samme mekanisme også er vigtig i plantens skyggerespons. Helt specifikt sker der det, at når planter er udsat for skygge, begynder de at producere mere karvæv i deres stilke, hvilket sender planterne i vejret. Forskerne gjorde meget simpelt det, at de lod planter vokse i rødt og hvidt lys, og derefter skar de dem i småstykker for at undersøge forskelle i mængden af dannet karvæv.

»Vildtypeplanter begynder at producere mere karvæv, når de bliver udsat for rødt lys sammenlignet med hvidt lys. Men vi så ikke det samme i mutanterne, der ikke længere var i stand til at øge produktionen af karvæv, fordi de var blevet muteret i de relevante transkriptionsfaktorer. Det havde gjort deres skyggerespons mere svagt,« forklarer Stephan Wenkel.

En fordel at bremse skyggerespons i afgrødeplanter

Opdagelsen af planternes genetiske respons på at være i skygge kan være relevant inden for eksempelvis landbruget.

Mange afgrødeplanter er skyggesensitive og vil sætte fart under væksten af deres stilke og stængler, hvis de bliver udsat for skygge. Det lyder måske umiddelbart attraktivt, men problemet i den sammenhæng er, at når planterne investerer i vækst af stænglerne, har de færre ressourcer til at investere i produkti-

Historien om den lille ninja

Stephan Wenkels forskning har kastet flere interessante opdagelser af sig. Blandt andet har forskeren identificeret et mikroProtein, der regulerer, hvor høje planter, herunder afgrødeplanter, kan blive.

MikroProteinet hedder LITTLE NINJA, og forskerne fandt det, da de ledte vidt og bredt efter mikroProteiner i den modelplante, som hedder *Brachypodium*. I forskningen brugte forskerne enorme computerkræfter til at gå hele *Brachypodiums* genom igennem med en tættekam for at se, om de kunne finde DNA-stumper, der kunne identificeres som forkortede sekvenser af allerede kendte proteiner. Her stødte de på LITTLE NINJA.

LITTLE NINJA findes i græsser, og da forskerne undersøgte effekten af mikroProteinet, fandt de, at det regulerer jasmonsyre-hormonsignalvejen. Når forskerne skruer op for LITTLE NINJA i ris og byg, bliver græsserne lavere og mere buskede med flere af de sideskud, som kornene vokser på. De bliver med andre ord mere produktive. Samtidig bliver græsserne mere modstandsdygtige over for vind og vejr, når de bliver lavere og mere buskede. Da LITTLE NINJA spiller ind i hormonsig-



Risplanten til venstre har et naturligt niveau af LITTLE NINJA, mens niveauet i risplanten til højre er forhøjet. Foto: Københavns Universitet.

naleringen i planter, har mikroProteinet også betydning for planternes blomster og rodnet.

Stephan Wenkel tror på, at man kan bruge viden om blandt andet LITTLE NINJA til at gå på jagt efter andre store proteiner i arvemassen og manipulere dem til mikroProteiner med muligvis interessante effekter på planter i form af nye eller forstærkede biologiske funktioner.

onen af eksempelvis korn og frugter. Det betyder, at udbyttet falder, hvis planterne skygger for hinanden.

Kan man justere afgrødeplanter skyggespons, kan man dog sikre sig, at de ikke bare vokser og vokser på bekostning af landmandens udbytte

»Det vil være effektivt for landbruget at have afgrødeplanter, der ikke har så kraftigt et skyggespons. Men man kan ikke bare mutere generne, for det kan gå ud over hele plantens vækst. Men ved at afkoble de gener, som transkriptionsfaktorerne regulerer i forbindelse med skyggesponsen, kan det være muligt at etablere en mindre effekt af at vokse i skygge,« siger Stephan Wenkel.

MikroProteiner regulerer transkriptionsfaktorerne

Det næste skridt i Stephan Wenkels forskning er ikke bare at forstå, hvordan REVOLUTA og

KANADI1 regulerer vækstgenerne, men også at forstå, hvordan REVOLUTA og KANADI1 i sig selv bliver reguleret.

I den sammenhæng spiller såkaldte mikroProteiner en stor rolle.

MikroProteiner er små, korte proteiner, der evolutionært stammer fra meget større proteiner. Nogle gange sker der det i eksempelvis en plantes arvemasse, at genet for et stort protein bliver duplikeret i genomet. Det giver planten et ekstra gen for et givent protein at eksperimentere med i forsøget på hele tiden at blive bedre og bedre tilpasset til det miljø, som planten lever i.

Evolutionært kan der opstå situationer, som gør det relevant for planten blot at bevare genet for en lille stump af det store protein i stedet for hele proteinet. Organismen indeholder derefter både det oprindelige store protein og et

ekstra mikroProtein.

MikroProteiner kan have forskellige funktioner, der hænger sammen med funktionen af det oprindelige store protein. Eksempelvis kan funktionen af det store protein være livsnødvendigt for organismen, men det kræver, at proteinet binder sammen i par. I det tilfælde kan et mikroProtein binde til det store protein og fungere som en regulator af dets effekt.

»MikroProteinerne kan eksempelvis fungere som bremser på de store proteiner, så effekten af proteinerne bliver holdt inden for de gavnlige niveauer,« forklarer Stephan Wenkel.

Når det gælder reguleringen af REVOLUTA, viser Stephan Wenkels forskning, at de to transkriptionsfaktorer er selvregulerende.

REVOLUTA regulerer ikke bare ét gen men mange gener, og nogle

af disse gener er ansvarlige for produktionen af mikroProteiner, der regulerer REVOLUTA selv. Det betyder, at når REVOLUTA sætter gang i hele organismens produktionsapparat som reaktion på at være i skygge, sætter transkriptionsfaktoren også gang i produktionen af mikroProteiner, som efter noget tid vil lukke ned for transkriptionsfaktoren selv, så planten ikke bare bliver ved med at vokse og vokse.

»Når en plante bliver udsat for skygge, vil den inden for få minutter aktivere eller deaktivere flere hundrede gener. Blandt generne er nogle, som er involveret i at gøre planternes stængler længere, men ud over det er der også ændringer i niveauerne af forskellige regulatoriske mikroProteiner, som står bag hele plantens skyggespons. Den viden kan udnyttes bioteknologisk til at udvikle planter, der er mere modstandsdygtige over for ændringer i de miljømæssige lysforhold,« forklarer Stephan Wenkel. ■

Om Stephan Wenkel

Stephan Wenkel er lektor i plantebiologi ved Institut for Plante- og Miljøvidenskab ved Københavns Universitet. Han er oprindeligt uddannet fra universitetet i Würzburg og lavede sin ph.d.-afhandling ved Max-Planck Institute for Plant Breeding Research samt universitet i Köln. Han arbejdede efterfølgende som postdoc ved Carnegie Institution for Science ved Stanford University, inden han blev forskningsgruppeleder ved universitetet i Tübingen. Siden 2014 har han været ansat ved Københavns Universitet.



Stephan Wenkels primære forskningsinteresser er inden for plantetilpasning og evolutionen bag regulatoriske molekyler. Hans forskningsområder har blandt andet kastet ny viden om mikroProteiner, og hvordan man kan bruge mikroProteiner til at optimere afgrødeplanter, af sig. Forsknin-gen, som er beskrevet i denne artikel, er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Foruden sin egen forskning er Stephan Wenkel bestyrelsesmedlem på Journal of Integrative Plant Biology. Han er derudover reviewer på flere andre videnskabelige tidsskrifter, herunder Nature Plants, PLoS Genetics og Current Biology. Stephan Wenkel har haft 12 ph.d.-studerende og syv postdoc under sine vinger.

Videre læsning:
Artiklen fra DFF-projektet:
Botterweg-Paredes E, Blaakmeer A, Hong SY, Sun B, Mineri L, Kruusvee V, Xie Y, Straub D, Menard D, Pesquet E and Wenkel S: Light affects tissue patterning of the hypocotyl in the shade-avoidance response. PLoS Genetics 6(3):e1008678, 2020.

Om LITTLE NINJA:
Hong SY, Sun B, Straub D, Blaakmeer A, Mineri L, Koch J, Brinch-Pedersen H, Holme IB, Burrow M, Jørgensen HJL, Albà MM and Wenkel S.: Heterologous microProtein expression identifies LITTLE NINJA, a dominant regulator of jasmonic acid signaling. PNAS 117(42):26197-26205, 2020.

Reviewartikel om micro-Proteins: Eguen T, Straub D, Graeff M, Wenkel S.: MicroProteins: small size - big impact. Trends in Plant Science 20(8):477-82, 2015.



sdu.dk/ing #sduing

Mangler du indspark til din undervisning Oplæg og workshops for gymnasieklasser

Ingeniøruddannelserne på SDU tilbyder flere spændende oplæg og workshops, der kan bookes både fysisk og online. Blandt andet har vi den nye workshop Sundhed gennem teknologi. I denne workshop arbejder deltagerne som sundheds- og velfærdsingeniører, med konceptudvikling af sundhedsfremmende løsninger til personer med forskellige sundhedsmæssige udfordringer.

Ved afholdelse af oplæg og workshops er det vores dygtige studenterambassadører som tager sig godt af dine elever, og har du særlige ønsker til indholdet, så arbejder vi sammen om at få det med.

Eksempler på andre oplæg og workshops tilbud:

- Matematik i Robotter
- Energiteknologier til grøn omstilling
- Business-modeller som vækstgenerator
- Idégenerering og iværksætter
- TEK Expo
- Kodecaféer

Find og bestil vores oplæg og workshops her
www.sdu.dk/tek/undervisningstilbud