



Udvalgets beslutning om at "kickstarte" rodforskning 2014



- Fra de tidlige år med meget simpel forskning i rødder til en verdensklasse facilitet
- Vi har en facilitet som kan det vi drømte om i 2014
- FAUPE og Robusta-projekterne har givet stor fremdrift



Sommer 2015



Crop Innovati

... til verdens-klasse facilitet

- Vi har nu opnået en facilitet og funktionalitet som lever op til det vi ønskede os i 2014!
- *"At the International root conference in Israel, the majority of all other root researchers are still conducting their experiments in tubes inside the greenhouse".*



CID 2023 Strategi



Det vil CID de kommende år

- **stimulere udviklingen af nye forbedrede afgrøder og sorter med fokus på forbedret klima-, miljø-, kvalitets- og produktivitmæssige effekter i planteproduktionen.**
- Strategiske platforme indenfor:
 - Rodforskning
 - Genomisk selektion,
 - Proteinafgrøder
 - Præcisionsforædling
- **CID-samarbejde skal videreudvikles så vi i Danmark er blandt de bedste i verden til samarbejde imellem virksomheder og vidensinstitutioner.**



Nordic Seed



AARHUS UNIVERSITY

Sejet planteforædling

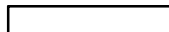


KØBENHAVNS UNIVERSITET



31-01-2020

Robuste og produktive afgrøder til bæredygtig intensivering af fremtidens planteavl (Robusta)



Konkurrencedygtig Planteproduktion



KØBENHAVNS UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET

Støttet af:

Promilleafgiftsfonden for landbrug

- Afsluttende rapporter er udarbejdet
- Sammendraget fra rapporten udleveret
- Effektivurdering afleveres til Promilleafgiftsfonden
- Robusta 2017-2019
- 2 Arbejdspakker
- AP 1 KU – Fænotypning rodvækst og rodfunktion
- AP 2 AU – Selektionstrategier



Konkurrencedygtig Planteproduktion

Hovedresultater AP 1

1. Fundet stor genetisk variation i dyb rodvækst for afgrøderne
2. Dybe rødder giver mere optagelse af vand og N
3. Variation i de testede arter (der er noget at arbejde med)
4. Mulighed for at selekttere for bedre udbytte og vandudnyttelse under tørke
5. Effektiv billedanalyse i RadiMax er udviklet – AI

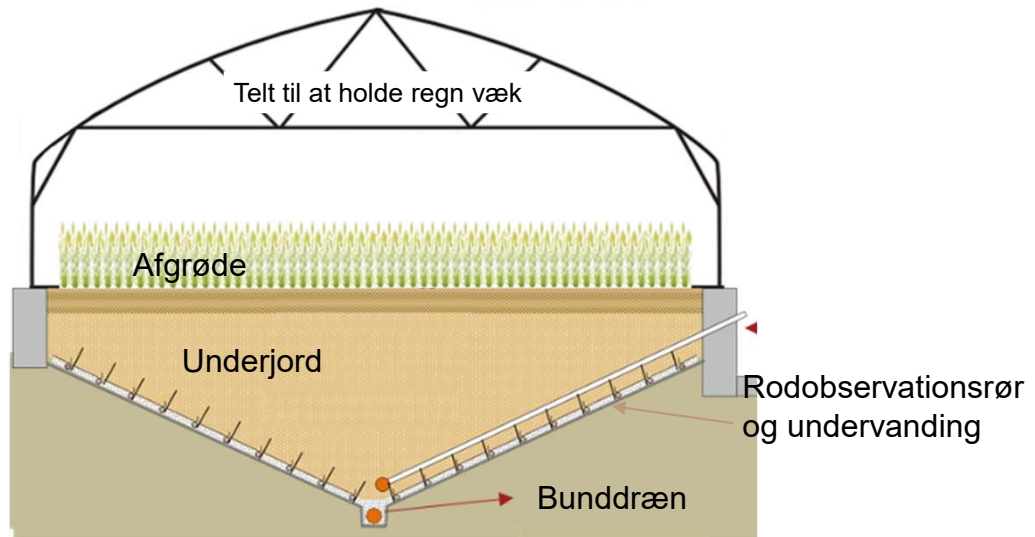


Hvorfor RadiMax, Robusta og forædling for dybe rødder?



- N udnyttelse, produktion og miljø
- Bedre vandudnyttelse, klimatilpasning
- Rødderne usynlige i jorden = forædling ikke mulig!
- KU del af RadiMax/Robusta arbejdet: At gøre rødderne synlige
- Forbedre målesikkerhed
- Kombinere med målinger af rodfunktion

RadiMax design



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

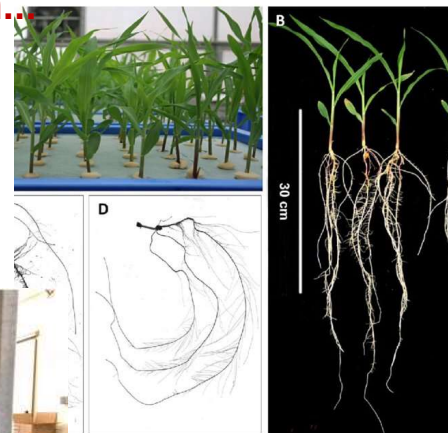
Hvad andre gør, kan måle på flere, men...



UC Leuven, Belgien



INRAe, Dijon, Frankrig



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Robusta 2017-2019 – arter i RadiMax anlægget



	2016	2017	2018	2019	2020
Vinterhvede					
Græsser					
Vårbyg					
Kartofler					

Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

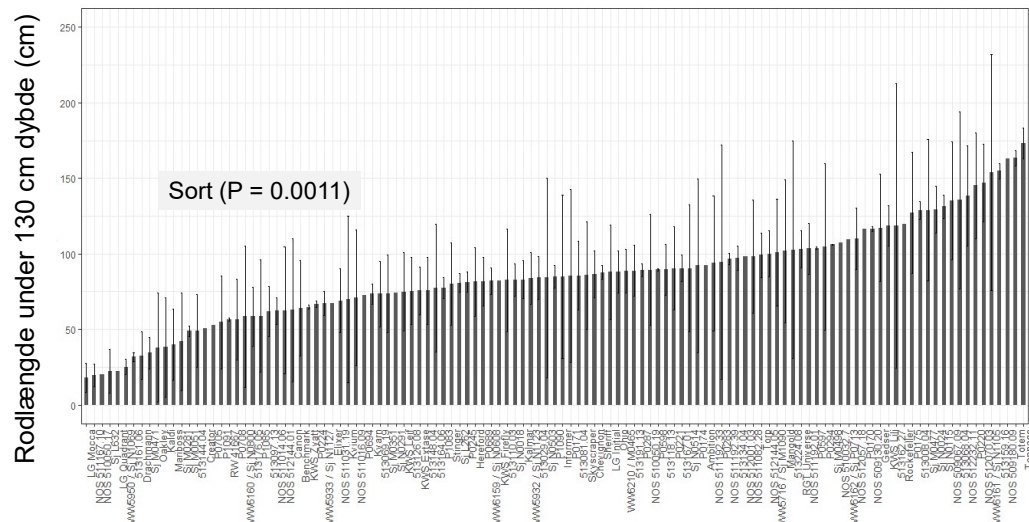
De 5 vigtigste resultater – Stor variation i roddebyde



- **1. Stor variation i dyb rodvækst:**
- Dyb rodvækst varierer betydeligt imellem almindelige sorter af de afgrøder vi har testet i RadiMax, hvilket viser at der er en variation vi kan udnytte i forædlingen. Generelt finder vi i hvert fald **20% variation** i roddebyde, hvilket hos **vinterhvede svarer til ca. 40 cm forskel.**

Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Dyb rodvækst af hvedesorter, juni 2019



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Wacker m.fl., foreløbige resultater

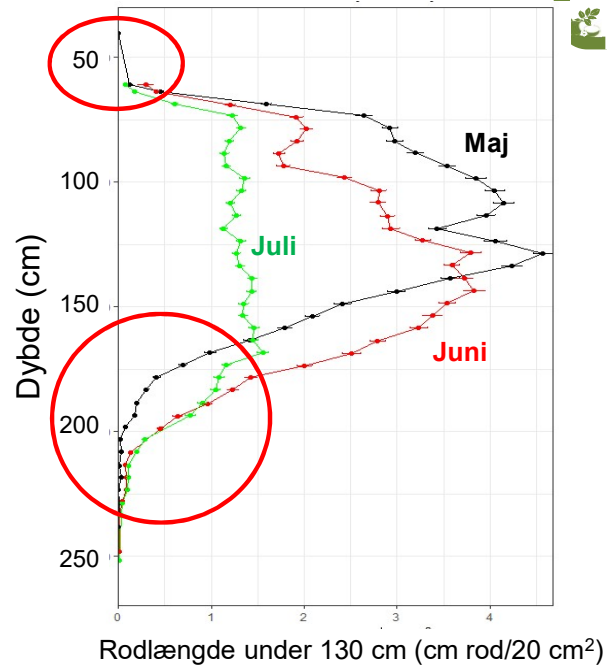
De 5 vigtigste resultater – Dybe rødder = mere vand og N



- 2. Dybe rødder giver mere optagelse af vand og N
- De første med isotoper som sporstoffer viser en **god sammenhæng imellem den målte rodvækst og optagelsen** af sporstofferne. Optagelsen af ^{15}N placeret i 180 cm dybde under hvede blev optaget i begrænset omfang, og optagelsen var klart relateret til rod dybde. Måling af ^{13}C som påvirkes af tørkestres viste tilsvarende at sorter med dybere rødder havde mindre tørkestres.

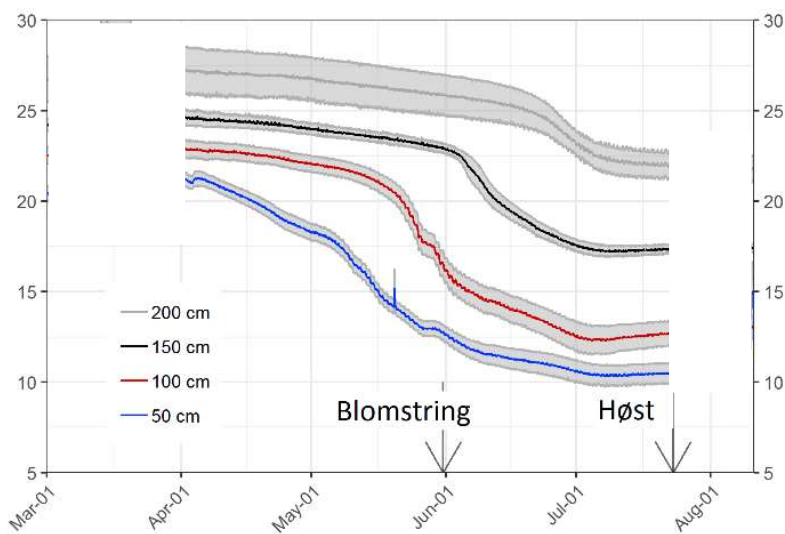
Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Rodfordeling af hvede igennem 2019



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

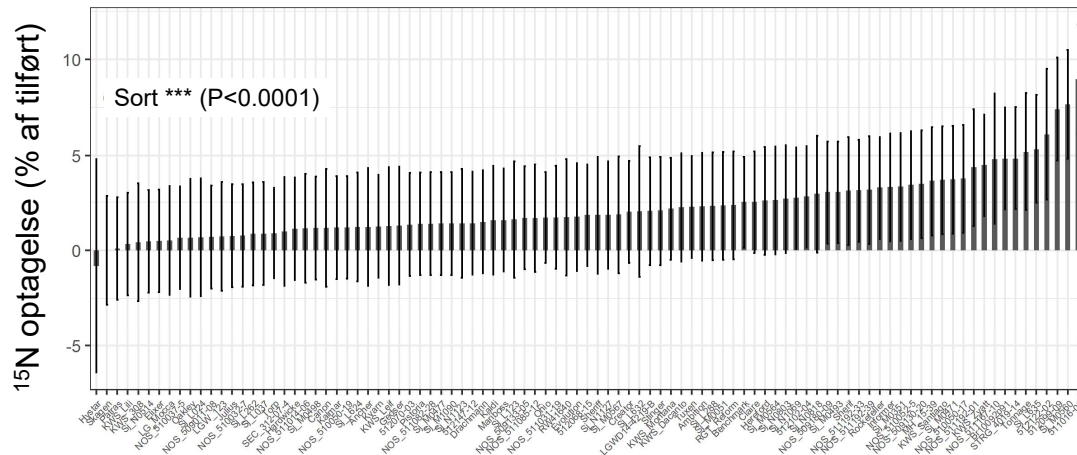
Udtørring af jordlag under hvede - fra 50, 100, 150 og 200 cm



Crop Innovation

Simon Fil Svane et al., 2019

Optagelse af ^{15}N fra 180 cm dybde



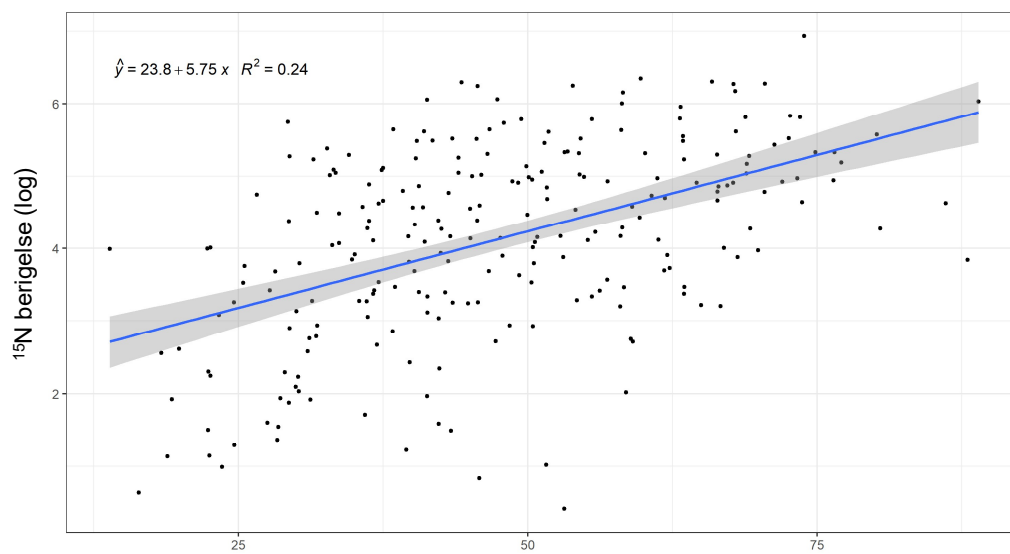
Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Sort

Wacker m.fl., foreløbige resultater

^{15}N optagelse vs. dyb rodvækst (^{15}N tilført i 180 cm dybde)

31/01/2020 18



Rodlængde under 130 cm (cm sqrt)

Wacker m.fl., foreløbige resultater

Vandeffektivitet - droner, bladtemperatur og andre sporstoffer



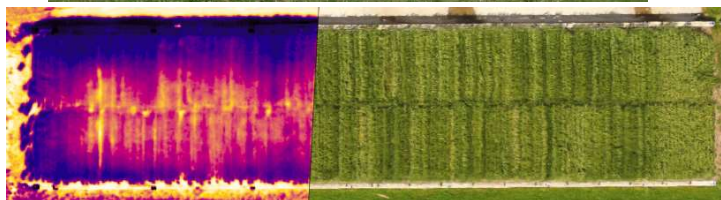
- **Tungt vand** ($^2\text{H}_2\text{O}$)

- Tilført dybt som ^{15}N



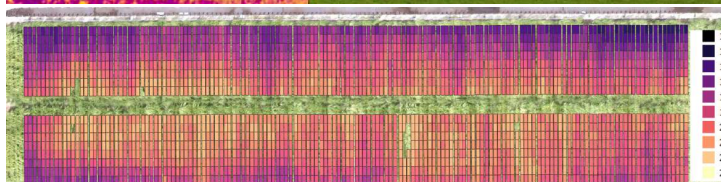
- ^{13}C / ^{12}C

- Naturlig berigelse



- **Bladtemperatur**

- Termisk kamera fra drone



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

De 5 vigtigste resultater – effekter i alle arter

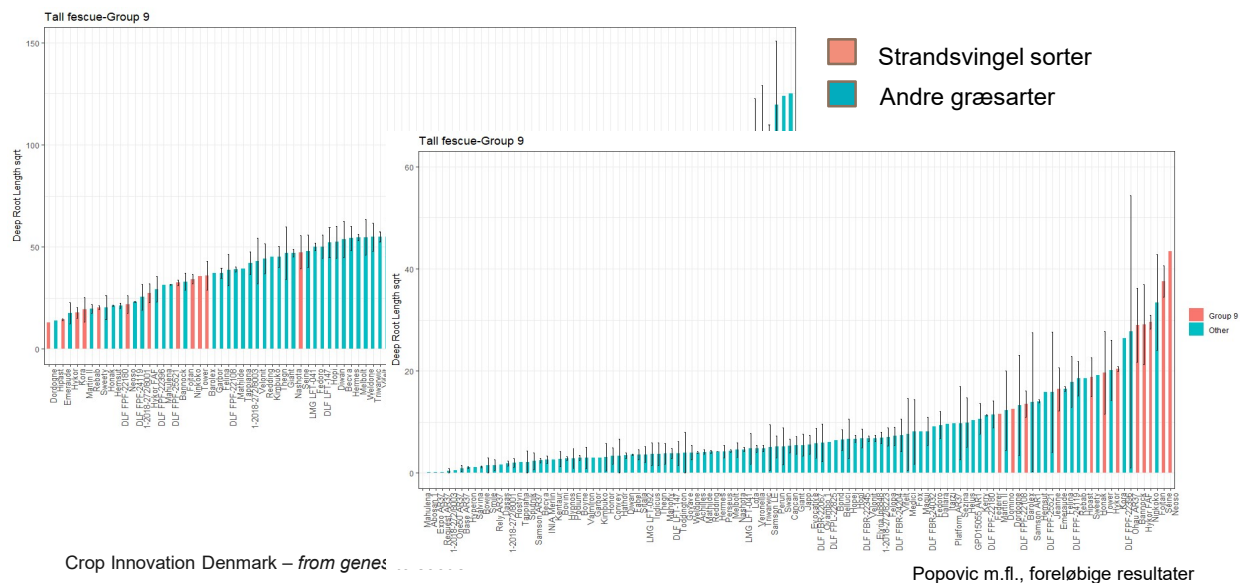


- **3. Effekter i alle arter**

- Tilsvarende forskelle er fundet i græsser, kartofler og vårbyg. De har også vist en mindst **20% variation i roddebyde**, og isotopstudier har vist at der er en **sammenhæng imellem dyb rodvækst optagelse af vand og kvælstof** fra dybe jordlag.

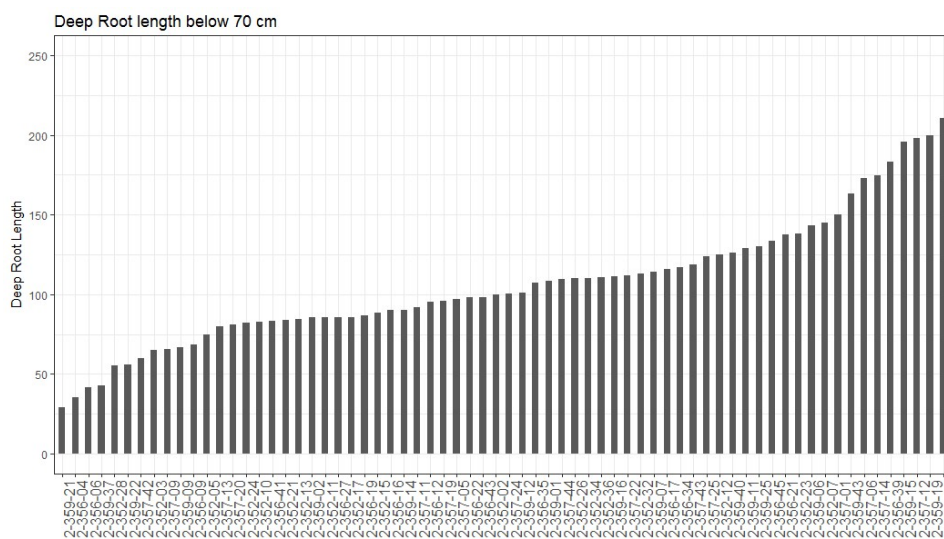
Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Dyb rodvækst af græsser, maj og September 2019



Dyb rodlængde i kartofler, juli 2018

31/01/2020 22



De 5 vigtigste resultater – tørke, rodvækst og udbytte



• 4. Tørke, rodvækst og udbytte

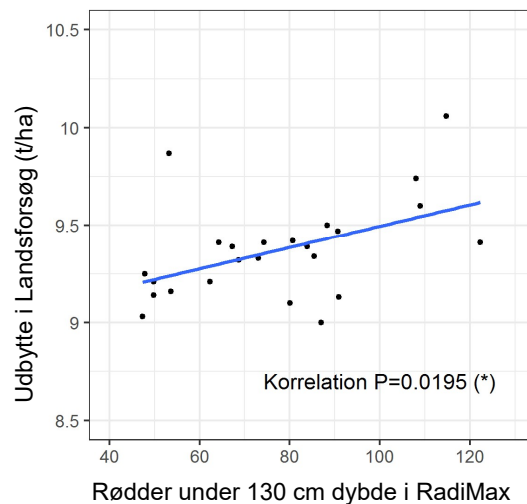
- I det tørre år 2018 kunne vi vise en signifikant **sammenhæng imellem sorterne's roddybde i RadiMax og deres udbytte i Landsforsøgene**. Det giver en stærk indikation på at vi kan opnå de forbedringer vi arbejder for i projektet. I de kommende år vil vi udbygge arbejdet med at sammenligne rodvækst målt i RadiMax og udbytte i markforsøg hos både hvede, kartofler og græsser.

Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Dyb rodvækst i RadiMax, udbytte i Landsforsøgene 2018



Gennemsnit af 6 forsøg 2018. Skive, Eskilstrup, Sønderborg, Avlum, Løkken og Holeby



Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

Hvad er udbyttepotentialiet i selektion for dybe rødder?

- beregningseksempler på hvad ekstra roddebde kan betyde



- 25 til 40 cm ekstra roddebde = ca. 30 mm ekstra vand (20 – 60 mm)
- 30 mm = 8-10 dages ekstra vækst
- 1 mm = ca. 50 kg biomasse, heraf 25 kg kerne
- 30 mm = ca. 1,5 t biomasse, heraf 0,75 t kerne
- Max effekt på biomasse, men ikke brug for dybt vand hvert år i DK
- Effekt på kerne kan være større, dybt vand tilgængeligt sent, blomstring og kernerfyldning
- Derudover, ca. 15 kg N/ha i gennemsnit, ikke afhængigt af tørre år

Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

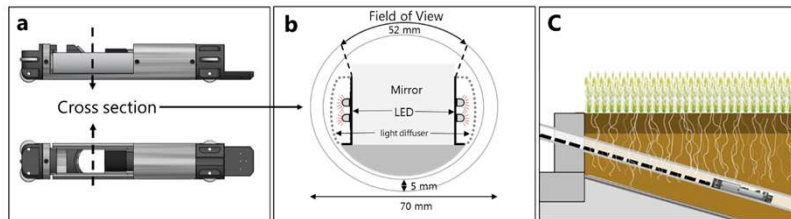
De 5 vigtigste resultater – effektiv billedanalyse



- **5. Effektiv billedanalyse**
- Billedanalyse baseret på **kunstig intelligens**, som gør det muligt at lave en hurtig og præcis rodmåling på de mange tusinde billeder fra RadiMax. Uden den udvikling ville vores rodmålinger i RadiMax være stærkt begrænsede og langsommelige. Den automatiske billedanalyse giver også bedre kvalitet og statistisk sikkerhed, og har gjort det muligt at opnå statistisk sikre resultater hvor den tidligere manuelle rodopgørelse ikke kunne vise forskelle.

Crop Innovation Denmark – from genes to seeds

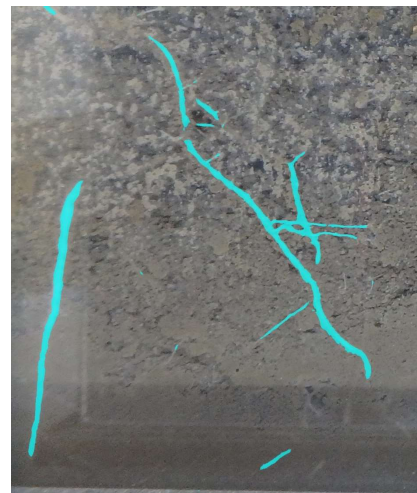
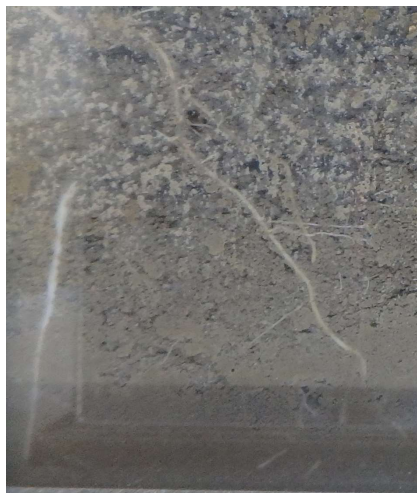
Rodmåling i minirhizotroner og med "Artificial Intelligence"



©Simon Fiil Svane

Crop Innovation Denmark – *from genes to seeds*

Rodanalyse med Neuralt netværk / Artificial Intelligence

Crop Innovation Denmark – *from genes to seeds*

© Abraham Smith

Konklusioner



- Vi kan måle forskelle i dyb rodvækst imellem mange sorter
- Forskellen i rod dybde mellem sorter ca. 20%
 - For hvede betyder det ca. 30-40 cm dybde
- Dybe rødder = større udnyttelse af vand og kvælstof
 - 2018 viste virkning på udbytte
- Forædlerne kan bruge resultaterne nu
- Udfordring, især at forbedre målesikkerhed

Crop Innovation Denmark – *from genes to seeds*

Robusta – arbejds pakke 2

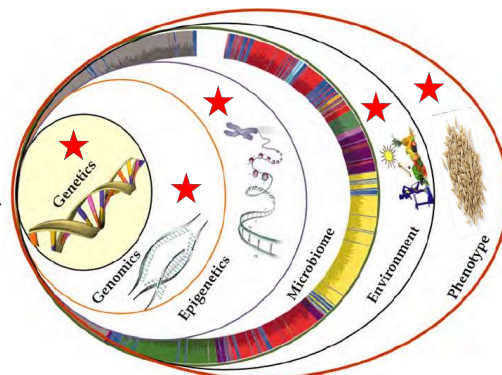
professor
TORBEN ASP
Aarhus University

Formål med arbejds pakke 2

- At udvikle og implementere en anvendelsesorienteret selektionsstrategi, som gør det muligt at identificere det bedste forædlingsmateriale for byg, hvede, græsser og kartofler til bæredygtig intensivering af dansk landbrug.
- At udvikle og implementere en anvendelsesorienteret forædlingsstrategi, der hurtigere og mere præcist kan selekttere for vand- og kvælstofudnyttelseseffektivitet i græsser, byg, hvede og kartofler.
- At udvikle og implementere en anvendelsesorienteret analysestrategi som gør det muligt at forædle for forbedret abiotisk- og biotisk stresstolerance og udbyttestabilitet i forskellige miljøer.

Robusta projektet – arbejdsPakke 2

- Vi har i Robusta projektet arbejdet med **byg og rajgræs – som eksempler på hhv. selv- og fremmedbestøvere**
- **Vi har arbejdet på alle regulatoriske niveauer** (DNA-, RNA-, epigenetik-, miljø-, og fænotype) bortset fra mikrobiomet. Se figuren, markeret med 
- Vi har integreret og prædikeret 4 egenskaber for byg og 16 egenskaber for rajgræs
- Forædlingsværdier for alle egenskaber er sendt til forædlingsfirmaerne til udvikling af nye og robuste sorter



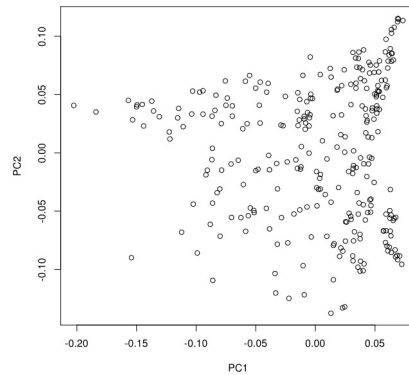
DATA summary – her vist for rajgræs – hvordan gener udtrykkes under stress → finde relevante gener og sorter/linjer

31/01/2024/05/2
018

DNA niveau

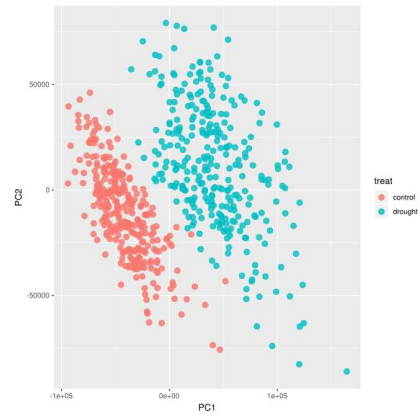
- Ingen ændring pga tørke

PCA 280 Lolium genotypes, maf 0.05, max missing 0.2



Transcriptom niveau

- Tydelig effekt på hvilke gener der er aktive



Prædiktion af Roddybde for rajgræs

31/01/202023/10/2
017

Model type	Population	SNP	Epigenetik	Gen-ekspression	Model	Præcision
Genomisk selection (GS)	0.15	0.20	-	-	0.39	0.15
GS + epigenetik (EPI)	0.15	0.16	0.27	-	0.58	0.17
GS + genekspression (GE)	0.12	0.13	-	0.32	0.58	0.37
GS + EPI + GS	0.11	0.11	0.16	0.29	0.66	0.38

Model: hvor meget af den fænotypiske variation kan modellen forklare på en skala fra 0 til 1.

Præcision: hvor præcis er modellen på en skala fra 0 til 1

Heritability: 0.31

Prædiktation af Roddybde for rajgræs

31/01/2020 23/10/2
017

Model type	Konklusion:		Præcision
	Model	Model	
Genomisk selection (GS)	Man kan forklare mere af den fænotypiske variation ved at inkludere data på flere regulatoriske niveauer.	0.09	0.15
GS + epigenetik (EPI)	Dette er især vigtigt i RadiMax faciliteten hvor omkostning for at screene forædlingsmateriale er høj, og hvor der er begrænsninger på antallet af linjer som kan screenes for roddybde per år.	0.08	0.17
GS + genekspression (GE)		0.08	0.37
GS + EPI + GS	Metoderne kan overføres til andre arter og markforsøg.	0.06	0.38

Model: hvor meget af den fænotypiske variation kan modellen forklare på en skala fra 0 til 1.

Præcision: hvor præcis er modellen på en skala fra 0 til 1

Heritability: 0.31

Hovedresultater AP 2

- 1) **Tørkestressgener er identificeret**
- 2) **Strategi for mere nøjagtig forædling er udviklet** (til implementering hos planteforædlerne)
- 3) **Udvalgt linjer/sorter med stor forædlingsværdi:** Der er identificeret og udvalgt forædlingsmateriale med den største forædlingsværdi (byg og græs)
- 4) **Genetisk variation muliggør smartere forædling med de udviklede strategier**
- 5) **Information om rodudvikling opnået:** Der er opnået viden om de biologiske processer, der ligger til grund for planternes rodudvikling

Opsummering Robusta 2017-2019

- Forskningen i rødder i landbrugsafgrøder er flyttet til et nyt niveau
- Vi er meget tættere på at kunne forædle for bedre rodvækst end for 3 år siden!
- Fremtidig platform til selektion hos planteforædlerne er udviklet og implementeret

Hovedresultater AP 1

- Fundet stor genetisk variation i dyb rodvækst for afgrøderne
- Dybe rødder giver mere optagelse af vand og N
- Variation i de testede arter (der er noget at arbejde med)
- Mulighed for at selekttere for bedre udbytte og vandudnyttelse under tørke
- Effektiv billedanalyse i RadiMax er udviklet – AI

Hovedresultater AP 2

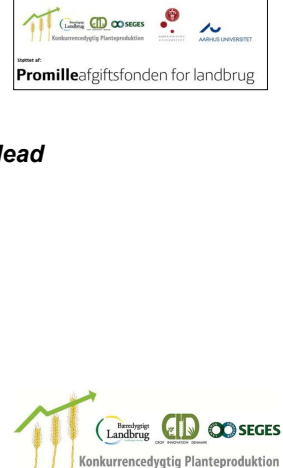
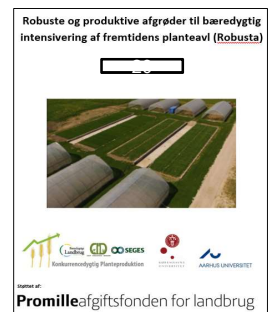
- 1) Tørkestressgener er identificeret
- 2) Strategi for mere nøjagtig forædling er udviklet (til implementering hos planteforædlerne)
- 3) Udvalgt linjer/sorter med stor forædlingsværdi: Der er identificeret og udvalgt forædlingsmateriale med den største forædlingsværdi (byg og græs)
- 4) Genetisk variation muliggør smartere forædling med de udviklede strategier
- 5) Information om rodudvikling opnået: Der er opnået viden om de biologiske processer, der ligger til grund for planternes rodudvikling



Testemonial fra brugerne/forædlere

Alle sejl ind for at løse klimaudfordringerne. :

- **Dybere rødder i hvede (Winnie Füchtbauer, Head of laboratory, Sejlet planteforædling)**
- **Fremtidens forædling er allerede begyndt og inkluderer kunstig intelligens (Christian Sig Jensen, Head of Biotech, DLF)**
- **Stærk og fleksibel dansk platform for genom-baseret forædling (Jihad Orabi, Head of Molecular Breeding, Nordic Seed)**
- **Se sammendraget – Robusta har givet værdi for Dansk Planteforædling.**



Tak til

- Promilleafgiftsfonden for Landbrug
- Konkurrencedygtig planteproduktion
- InnovationsFonden

