



Gradueret vækstregulering i vinterhvede

OnFarm^{PLUS}



TEKNOLOGISK
INSTITUT



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Gradueret vækstregulering i vinterhvede

OnFarm^{PLUS}



Udarbejdet for:

Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N
AgroTech

Udarbejdet sammen med:

SEGES, Marian D. Thorsted

Oktober 2019

Forfatter: Philipp Trénel, ph.d., seniorkonsulent
Lotte Buch Salling-Mortensen, faglig leder



Formål

- At undersøge, om graderet vækstregulering på baggrund af drone-indhentede NDVI-målinger som biomasse-proxy målt tidligt i sæsonen (25.04.2019) kan påvises at have en effekt på lejesæd og udbytte i vinterhvede.
- At undersøge, om en optimal tildelingsfunktion kan identificeres. Tildelingsfunktionen beskriver hvilken dosis, der svarer til en given observeret NDVI.

Overordnede konklusioner

- De overordnede konklusioner fremgår af flowchartet i Fig. 1.
- Der er ikke fundet en signifikant effekt af graderet vækstregulering på udbytte, men på lejesæd vurderet før høst ($p = 0.022$).
- Graderet vækstregulering udviste en signifikant lavere lejesæds karakter end både std- og $\pm 25\%$ -doseringen, men var ikke signifikant forskellig fra $+25\%$ -doseringen, se Tabel 1.
- Droneflyvningerne har vist, at graderet vækstregulering udviste en signifikant højere NDVI medio juli og signifikant lavere NDVI ultimo august, se Tabel 1. Graderet vækstregulering har dermed en synlig effekt på vækstmønsteret.
- Der er fundet en signifikant sammenhæng mellem ændringen i NDVI ($\Delta NDVI$) fra medio juli til ultimo august (afmodning) og lejesæd, Fig. 11.
- Den manglende signifikans ift. udbytte skyldes formentlig følgende to forhold eller en kombination af dem:
 - 1) Behandlingen $+25\%$ har ikke givet et merudbytte i forhold til std-behandlingen. Dette kan tyde på, at den tilladte øvre grænse på $+25\%$ vækstregulering ikke var tilstrækkeligt i indeværende forsøg med høje biomasse-niveauer. Fig. 6 indikerer, at udbyttet generelt stiger med NDVI, men at den var reduceret der, hvor biomassen (NDVI) var højest før behandlingen. Fig. 7 viser, at dette kunne skyldes en negativ effekt af øget lejesæd, om end $+25\%$ vækstregulering ikke var tilstrækkeligt til at mindske denne negative effekt.
 - 2) Den anvendte tildelingsfunktion har ikke været optimal. Fig. 9 indikerer, at udbyttet var alene bestemt ved NDVI før behandling for doser mellem std-dosis og $+25\%$ -dosis (ingen vekselvirkning mellem NDVI og dosis i dette dosis-spænd). Indenfor de her anvendte $+25\%$ - og $\pm 25\%$ -grænser ville derfor en omfordeling af vækstregulering fra høje NDVI-områder til lavere NDVI-områder formentlig have øget udbyttet. Dette ville have resulteret i en ikke monotont stigende tildelingsfunktion. Generelt er både udbyttet og lejesæd fundet til at stige med en stigende biomasse (NDVI) målt før behandlingen, mens lejesæd forventes at have en negativ effekt på udbytte. Sidstnævnte er dog ikke fundet signifikant i indeværende forsøg, se Fig. 11. Dette kunne indikere, at afgrøden ikke var påvirket af lejesæd i tilstrækkelig høj grad til at observere en udbytte-reduktion, der overstiger udbyttefremgangen grundet høj biomasse.

- Overordnet set peger forsøget på potentialet i graderet vækstregulering. Forsøget viser også, at et OnFarm^{Plus} forsøg effektivt kan adressere problemstillingen omkring graderet vækstregulering.
- Der er brug for opfølgende forsøg til at undersøge:
 - o Hvilken tildelingsfunktion er optimal?
 - o Er der øvre og nedre NDVI-niveauer, hvor en vækstregulering ikke kan betale sig?
 - o Kan resultater fra et forsøg/lokaltet overføres til et andet forsøg/lokaltet?
 - o Kan graderet vækstregulering bruges til at mindske den samlede mængde anvendt vækstreguleringsmiddel?

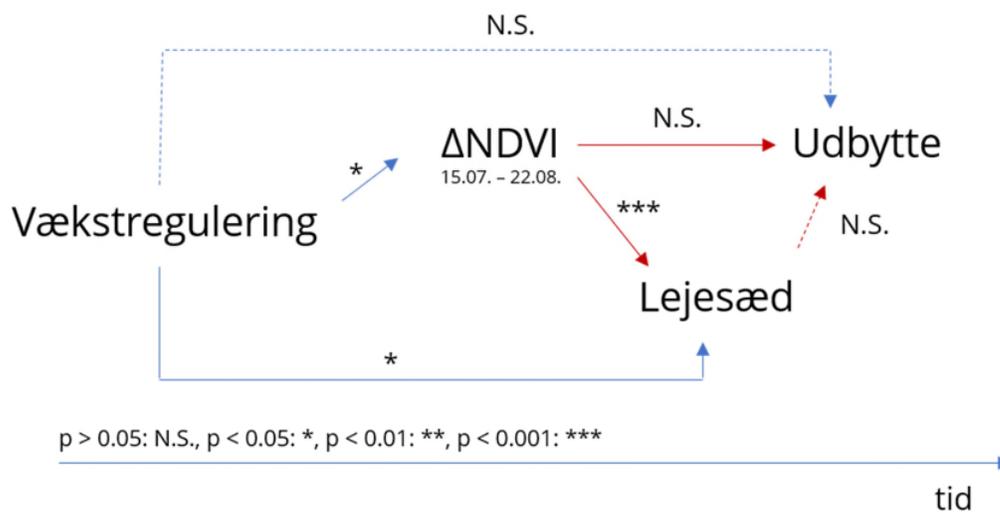


Fig. 1: Flowchart over fundne sammenhæng mellem vækstregulerings-behandlingerne (+25%, std., ÷25%, graderet tildeling), biomasseændring mellem medio juli til ultimo august (Δ NDVI, afmodning), lejesæd og udbytte. Blå pile indikerer en sammenhæng for en faktorvariabel (f.eks. vækstregulering med de fire led +25%, std., ÷25%, graderet tildeling); rød pil indikerer en negativ sammenhæng og grøn pil indikerer en positiv sammenhæng. N.S.: ikke-signifikant.

Tabel 1: Overordnet effekt (model 1) af gradueret vækstregulering på udbytte, lejesæd og biomasse målt som NDVI og NDRE mellem midt juli og slut august.

Δ indikerer ændringen over tid. Alle tal viser Least Squares means (LSmeans). Behandlinger med samme bogstav indenfor en række er ikke signifikant forskelligt fra hinanden (uden hensyntagen til multiple testing). Der er også vist testsandsynligheden (p-værdi) for den overordnede test for ingen effekt af vækstregulering.

	Vækstregulering			Gradueret til- deling	P-værdi
	Fast dosis				
	+25%	std.	+25%		
Forsøg 090791919-001					
Udbytte (hkg kerne/ha)	94.4^a	95.8^a	92.8^a	94.1^a	0,40
Lejesæd (LS _{visuel} , 1-10)	2.8^{ab}	3.1^a	3.3^a	2.3^b	0,022*
NDVI 15.07.2019	0.545^a	0.531^b	0.545^{ac}	0.553^c	<0,001***
08.08.2019	0.142^{ab}	0.137^c	0.14^a	0.143^b	<0,001***
22.08.2019	0.113^a	0.115^a	0.117^b	0.109^c	<0,001***
NDRE 15.07.219	0.284^a	0.276^b	0.286^a	0.287^a	0,016*
08.08.2019	0.095^a	0.092^b	0.093^{ab}	0.097^c	<0,001***
22.08.2019	0.069^a	0.071^b	0.072^b	0.068^a	<0,001***
ΔNDVI 15.07.-22.08	-0.749^a	-0.748^a	-0.743^b	-0.75^a	<0,001***
ΔNDRE 15.07.-22.08	-0.393^a	-0.383^b	-0.393^a	-0.398^c	<0,001***

Metoder

Forsøgsdesign

- Forsøgsbehandlinger, måleparametre og forsøgsdesign er beskrevet i Nordic Field Trial System [her](#).
- Yderligere informationer fremgår af resultatsiden i Nordic Field Trial System [her](#).

Generering af graderet tildelingsstrategi

- Tildelingskortet blev genereret ud fra en droneoverflyvning udført den 25.04.2019.
- NDVI blev valgt som biomasse-proxy, idet NDVI udviste en marginal større variation over forsøgsarealet: $SD_{NDVI} = 0.19$, $Median_{NDVI}$ [IQR_{NDVI} (Interquantile-range)] = 0.9 [0.8, 0.9], $Min_{NDVI} = 0$, $Max_{NDVI} = 1$; $SD_{NDRE} = 0.18$, $Median_{NDRE}$ [IQR_{NDRE}] = 0.7 [0.6, 0.7], $Min_{NDRE} = 0$, $Max_{NDRE} = 0.9$.
- Tildelingskortet blev genereret ved at 1) evaluere NDVI på den side af traktorsporene, hvor målinger og høst kommer til at foregå, 2) anvende den valgte tildelingsfunktion til at oversætte NDVI til tildelingsrate og 3) tilordne tildelingsraten til hele sriben, dvs. på begge sider af traktorsporet inkl. traktorsporet. Sidstnævnte, fordi tildelingen styres ud fra traktorens GPS-position. Fig. 2 forklarer principperne bag tildelingsfunktionen, samt konsekvenserne af valg af tildelingsfunktion og anvendt gridsize.
- Anvendte parametre til genereringen af tildelingskortet fremgår af Tabel 2.

Tabel 2: Anvendte parametre til generering af tildelingskort

Parameter	Parameterværdi	Beskrivelse
d	d = 10 m	Stribebredde (i m). I midten af sriben ligger centerlinjen. ½ af stribebredden ligger på hver sin side af centerlinjen
t	t = 4 m	Traktorkøresporets bredde (i m). I midten af traktorkøresporet ligger centerlinjen.
g	g = 3 m	Evalueringssidets gridsize (i m). Et enkelt grid-rektangel har dimensionerne $((d/2) - (t/2)) \times g$, såfremt traktorsporene ønskes fjernet.
E	E = "øst"	Evalueringsside. Her er anvendt øst-siden af traktorspor.
b	b = 100	b er antal klasser el. bins til evalueringen af tildelingsfunktionen F
F	F = ("quantile", "linear")	F beskriver den valgte tildelingsfunktion, der oversætter biomasse-indekset til en tildelingsrate. Funktionen består af to elementer. 1) Angiv om biomasseindekset ("raw") eller biomasseindeksets kvantiler ("quantile") skal anvendes i F neddelte i b klasser. Sidstnævnte muliggør at fastsætte en gennemsnitlig targetdosis. 2) Angiv hvilken funktion skal der anvendes? Valgmulighederne er "linear", "arctan" med en gamma-parameter til beskrivelse af accelerationen, "logit", eller "user", f.eks. en step-funktion, se Fig. 2.
D, D_{lower}, D_{upper}	D = 200 D _{lower} = 150 D _{upper} = 250	Gennemsnitlig targetdosis, samt nedre og øvre tilladte grænser. Enheden er her liter (L/ha).

- Mere specifikt blev der brugt følgende procedure til generering af tildelingsfil for de fire striber i marken der udgør led 4 (graderet tildeling), se Fig. 3 og 4:
 1. Traktorsporenes centerlinje er fundet visuelt ud fra clues i dronebilledet (kørespor, flag).
 2. Striber omkring traktorsporenes centerlinje er fundet som rektangler af bredte $d = 10$ m (5 m til hver side af centerlinjen).
 3. Traktorsporene ($t = 4$ m) er fjernet fra striberne ved at fjerne centreret rektangel og striben neddeles i subrektangler (tildelingsgrid) ved at inddele centerlinjen i intervaller af længde $g = 3$ m. NDVI-evaluerings grid er dermed fundet som griddet af rektangler af dimensionerne $(5 - 2 \text{ m}) \times 3 \text{ m}$ på den ene side af centerlinjen ($E = \text{"øst"}$).
 4. NDVI-værdier er ekstraheret for evalueringsgriddet og NDVI-fordelingen bestemt ved at inddele NDVI-kvantilerne i $b = 100$ bins (percentiler) og tildelingsfunktionen er fundet ved at lade tildelingsraten lineært stige med NDVI-centilerne fra den nedre grænse 150 L/ha ($\div 25\%$) til den øvre grænse 250 L/ha ($+25\%$). Dette sikrer, at den gennemsnitlige tildelte mængde er på 200 L/ha (norm). $F = (\text{"quantile", "linear"})$ med $b = 100$.
 5. Tildelingsraten tilordnes til $d \times g$ gridcellerne, dvs. på begge sider af traktorsporet inkl. traktorsporet.

Fig. 2 (næste side): A) Forklaring af hvad en tildelingsfunktion er. Øverste panel er de observerede NDVI-værdier og tilhørende histogram i en hypotetisk mark med to striber. Nedre panel viser den anvendte lineære tildelingsfunktion på baggrund af biomasseindeksets kvantiler ($NDVI_q$), $F = (\text{"quantile", "linear"})$, samt tildelingskortet (med overskrift Dosis). B) Som A), men med en række andre tildelingsfunktioner vist. C) Som A), men med en anden valgt evaluerings-gridsize.

Hvad er en tildelingsstrategi (=tildelingsfunktion)?

Tildelingsstrategien eller tildelingsfunktionen er sammenhængen mellem miljøvariablen (f.eks. NDVI, biomasse, EM38, etc.) og dosis, f.eks.

$$\text{dosis } d = \alpha + \beta \times \text{NDVI}$$

eller

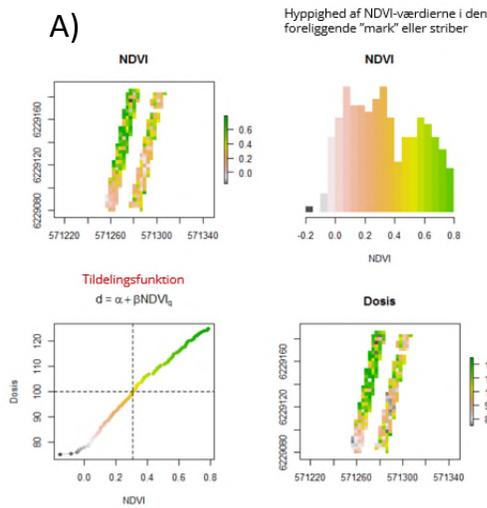
$$\text{dosis } d = \alpha + \beta \times \text{NDVI}_q$$

← Dette er én af mange mulige tildelingsfunktioner, nemlig en lineær sammenhæng

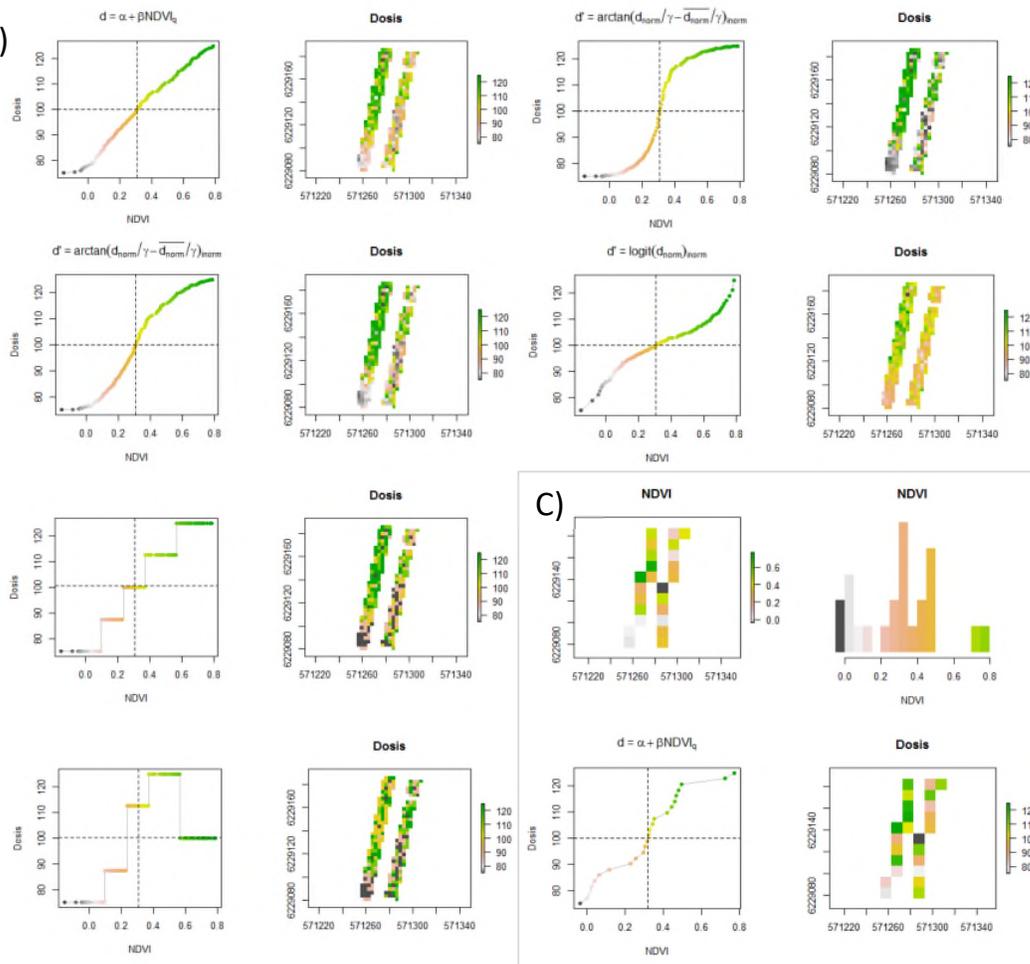
← står for kvantile = kvantil

← Her er en anden tildelingsfunktion, hvor dosis er lineær afhængig af NDVI-quantilen. Det betyder, der tages med i betragtning, hvor hyppigt en given NDVI-værdi er i den foreliggende mark. Dette er vigtigt, når der ønskes opnået en given target dosis (gns. dosis) for "marken" (=striber med samme behandling).

A)



B)



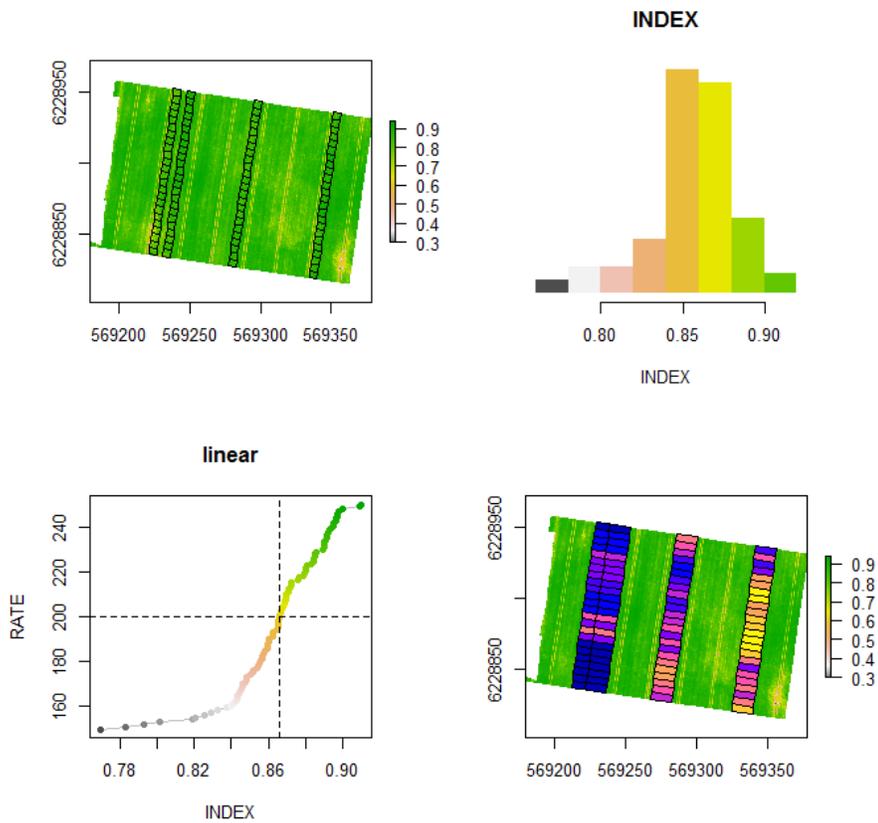


Fig. 3: Steps i generering af tildelingskort i forsøg 090791919-001. Øverst til venstre: NDVI-kort fra den 25.04.2019. Evaluerings-grid (3 x 3 m) placeret øst for traktorsporene er vist. Øverst til højre: NDVI-fordeling. Nederst til venstre: den anvendte lineære tildelingsfunktion på baggrund af NDVI-kvantilerne med en gennemsnitligt targetdosis på 200 L/ha og en nedre og øvre grænse på 150 og 250 L/ha. Nederst til højre: det genererede tildelingskort vist over NDVI-kortet.

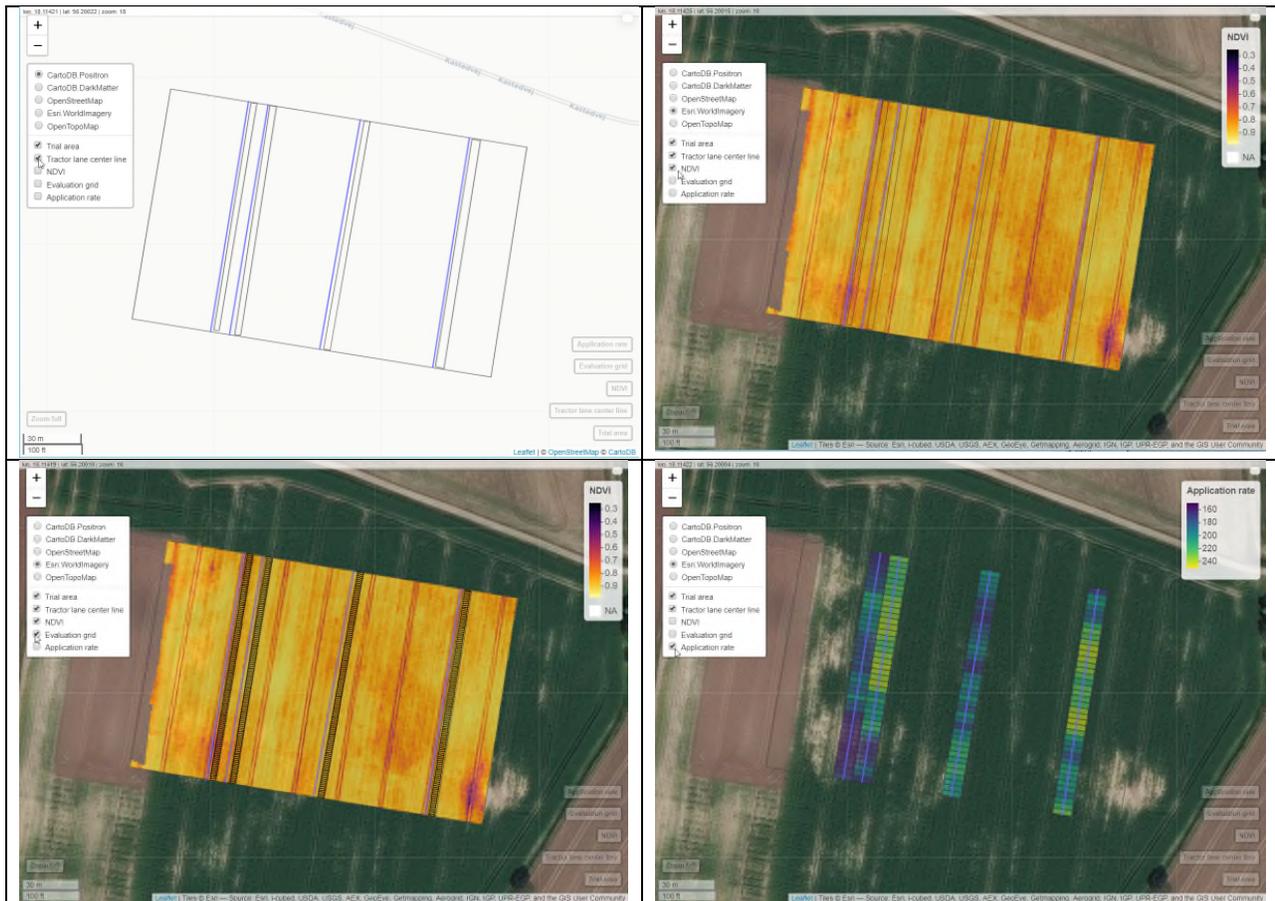


Fig. 4: Steps i generering af tildelingskort i forsøg 090791919-001. Øverst til venstre: Forsøgsarealet og centerlinjer i traktorsporene. Øverst til højre: NDVI-kortet tilføjet. Nederst til venstre: Evalueringsgriddet tilføjet. Nederst til højre: Tildelingskortet og centerlinjer i traktorsporene.

Data

- Der foreligger følgende data ud over oplysninger vedr. forsøgsdesignet, se Fig. 5:
 1. EM38 (elektrisk konduktivitet forventet korreleret med ler-indhold i jorden, dvs. bonitet)
 2. Rate (planlagt tildelt applikationsrate i L/ha)
 3. Udbytte i hkg kerne med 15% vand / ha
 4. Visuel lejesædsbedømmelse (LS_{visuel}) på en skala fra 1 til 10, hvor 1 svarer til ingen lejesæd. LS_{visuel} foreligger på et grid med større punktafstand (ca. 10 m).
 5. NDVI som biomasse-proxy målt den 25.04. og brugt til generering af tildelingsfilen ($NDVI_{25.04}$)
 6. NDVI- og NDRE-målinger efter forsøgsbehandlinger er gennemførte: $NDVI_{15.07}$, $NDVI_{08.08}$, $NDVI_{22.08}$, $NDRE_{15.07}$, $NDRE_{08.08}$, $NDRE_{22.08}$.

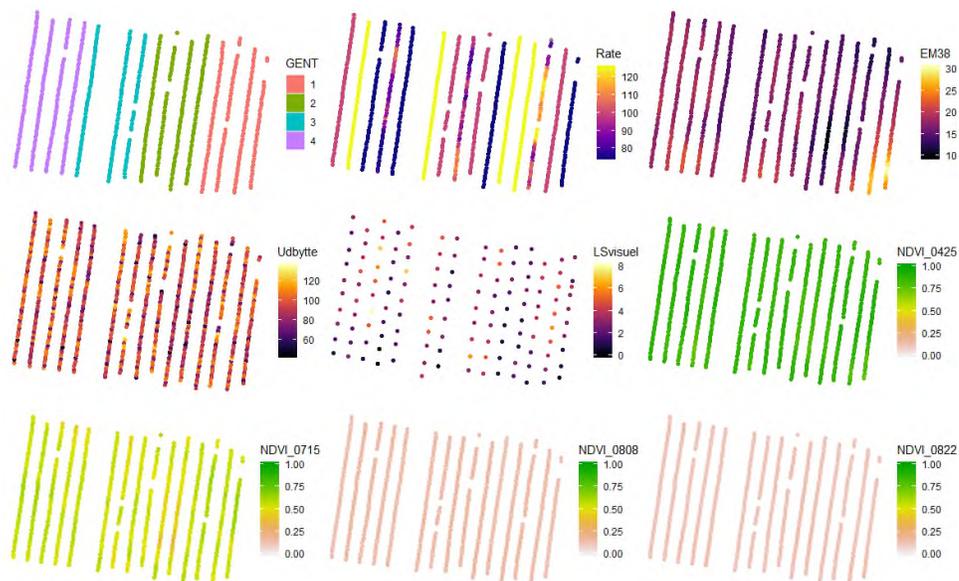


Fig. 5: Anvendte georefererede data-lag.

Model

- Der er brugt Tiefelsdorf & Griffiths (2007) semiparametriske spatial filtermodel (SF) for at kontrollere for spatial afhængighed i data. SF er en teknik, der beskriver den spatiale afhængighed ved at finde det adækvate sæt af egenvektorer, der gør, at modelresidualerne er spatialt tilfældigt fordelte givet de specificerede faste effekter. Residualernes rumlige fordeling evalueres vha. Moran's I og ved at teste at denne ikke er forskelligt fra 0 (= spatial tilfældig fordeling). Det fundne sæt af egenvektorer (scores) bruges derefter som forklarende variabler i en efterfølgende lineær model (aka principal component regression, PCR).
- Der er brugt følgende to modeller:

$$(1) \quad Y \sim \beta_0 + P\beta + \beta_1 \text{GENT} + \beta_2 \text{EM38} + \beta_3 \text{Trt} + \beta_4 \text{NDVI} + e$$

$$(2) \quad Y \sim \beta_0 + P\beta + \beta_1 \text{GENT} + \beta_2 \text{EM38} + \beta_3 \text{Trt} + \beta_4 \text{NDVI} + \beta_5 \text{NDVI} \times \text{Trt} + e$$

$$(3) \quad Y \sim \beta_0 + P\beta + s(\text{EM38} | k_1) + s(\text{NDVI, Dosis} | k_2) + e$$

$$Y = \begin{cases} \text{Udbytte} \\ \text{LSvisual} \\ \text{NDVI} - 15.07 \\ \text{NDVI} - 08.08 \\ \text{NDVI} - 22.08 \\ \Delta \text{NDVI} \\ \text{NDRE} - 15.07 \\ \text{NDRE} - 08.08 \\ \text{NDRE} - 22.08 \\ \Delta \text{NDRE} \end{cases}$$

- **Model 1** adresserer, om der er en overordnet behandlingseffekt (Trt = {+25%, std., ÷25%, gradueret}).
- **Model 2** adresserer, i hvilken del af NDVI-spektret en given behandling har en effekt på responsvariablen Y.
- **Model 3** estimerer den glatte udbytte- hhv. lejesædsflade over NDVI × dosis- vekselvirkningen og adresserer, om der kan udpeges en bedre tildelingsfunktion end den i forsøget anvendte.
- Inden modellering blev observationerne aggregeret til en median parvise mindste afstand mellem observationerne på 6 m for at undgå en høj nugget (høj varians ved korte afstande) og at denne dominerer estimeringen af den spatiale autokorrelation.
- Residualerne e er modelleret som værende uafhængige og normalfordelte givet modellens spatiale komponent P (principal components scores) og faste effekter GENT (gentagelsesblok), EM38, Trt og NDVI (NDVI_{25,04}).
- EM38 og NDVI_{25,04} er kodet som faktorvariabler, med faktorniveauerne svarende til 20%-kvantil-klasser, navngivet som q1, q2, ..., q5 som hhv. 1., 2. og 5. kvartil. I model 3 er begge variabler dog modelleret som numeriske variabler, hvorved

- $s(\cdot|k)$ står for en thin plate spline smoothing funktion med udglatningsgraden kontrolleret vha. parameteren k bestemt vha. generaliseret krydsvalidering.
- Til vurderingen af Moran's I er der anvendt et nærmeste-nabo-sæt indenfor 20 m for hver observation. Denne afstand er bestemt som den størrelse, der minimum er medianafstanden mellem to punktobservationsrækker fra nabostriber og maksimalt den i den bedst fittede semivariansmodel estimerede range-parameter. Der er anvendt en invers-afstands-vægtning af naboerne i sættet. Testede semivariansmodeller er: spherical, exponential, gaussian, matern, matern med Stein's parametrisering.
 - Der er udført standard modelkontrol. Derudover er der udført Moran's I test og en grafisk vurdering af spatial afhængig af residualerne vha. et semivariogram.
 - Alle analyser er udført i R med SF udført vha. R-pakke `spdep`.

Resultater

- Resultater fremgår af Figurerne 6 til 11 og tabel 1.

Referencer

Tiefelsdorf, M. & Griffith (2007). Semiparametric filtering of spatial autocorrelation: the eigenvector approach. *Environment and Planning A* 2007, volume 39, pages 1193 - 1221. DOI:10.1068/a37378.

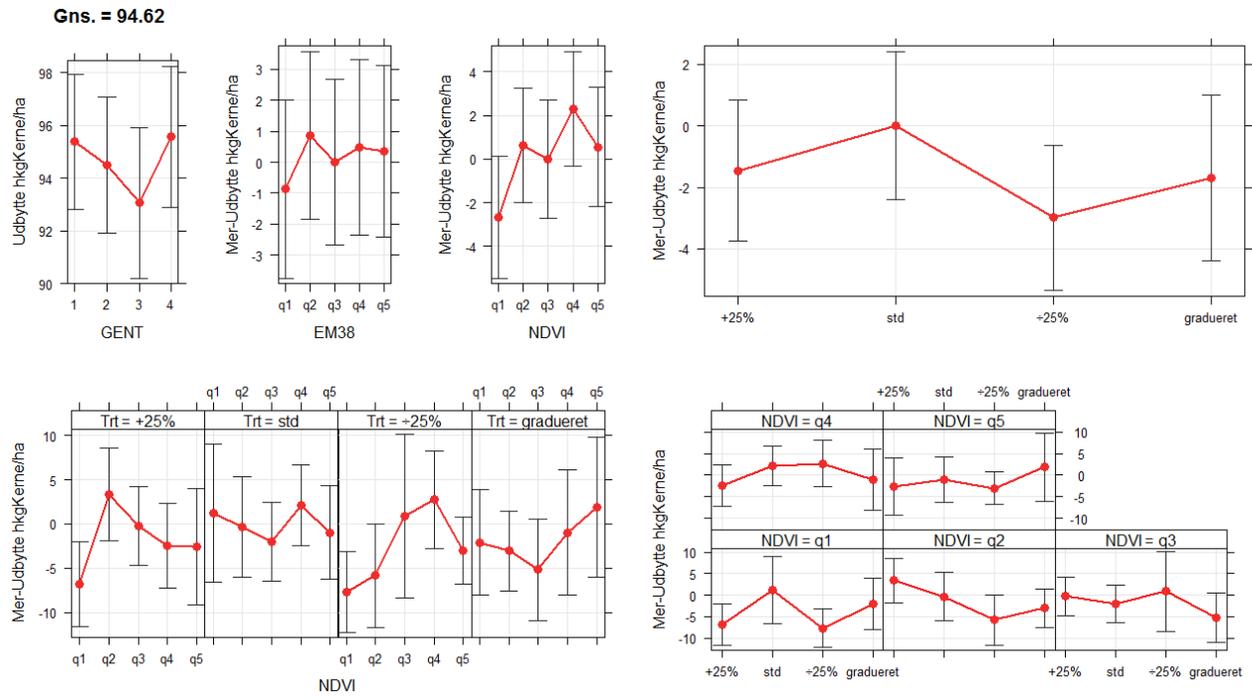


Fig. 6: Estimerede effekter af vækstreguleringsbehandlinger (Trt) på udbytte efter korrektion af gentagelsesblok, EM38 og NDVI før behandling. Øverst til højre er vist den overordnede effekt af vækstregulering (model 1). Nederste panel viser, i hvilken del af NDVI-spektrret en given behandling udviser en behandlingseffekt (NDVI × Trt vekselvirkning, model 2). Begge grafer viser det samme, men med hhv. NDVI og Trt på x-aksen for at lette tolkningen.

Gns. = 3.01

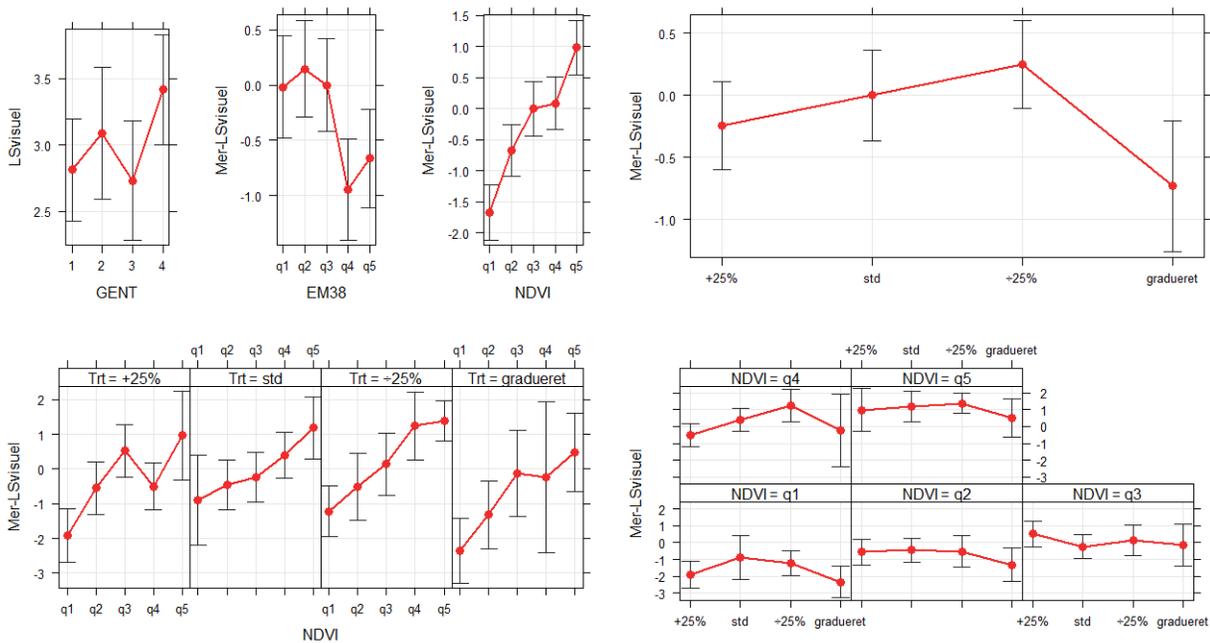


Fig. 7: Estimerede effekter af vækstreguleringsbehandlinger (Trt) på lejesæd efter korrektion af gentagelsesblok, EM38 og NDVI før behandlingen. Øverst til højre er vist den overordnede effekt af vækstregulering (model 1). Nederste panel viser, i hvilken del af NDVI-spektrret en given behandling udviser en behandlingseffekt (NDVI × Trt vekselvirkning, model 2). Begge grafer viser det samme, men med hhv. NDVI og Trt på x-aksen for at lette tolkningen.

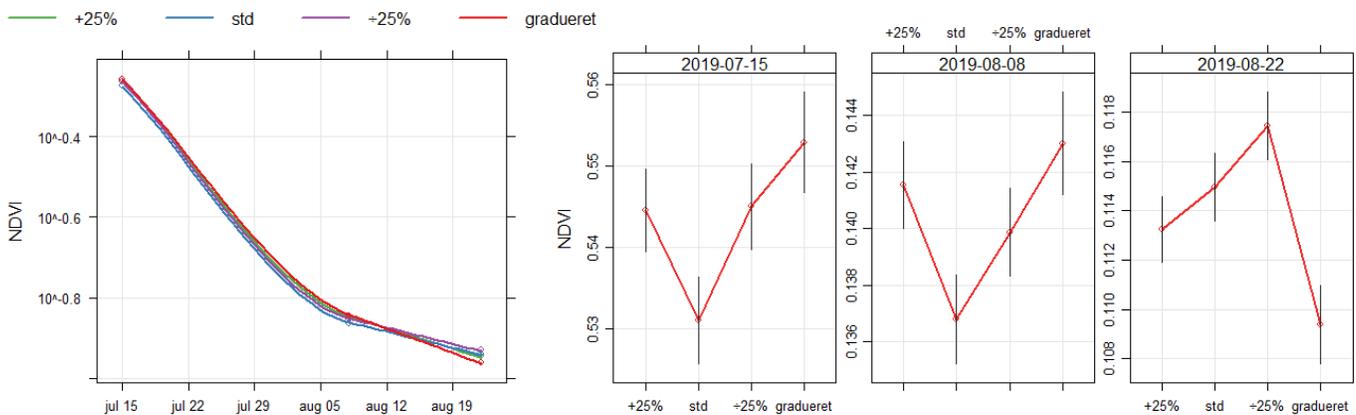


Fig. 8: Estimerede effekter af vækstreguleringsbehandlinger (Trt) på biomasse målt som NDVI over tid. Venstre panel viser udviklingen over tid. Højre panel sammenligner behandlingerne ved hvert tidspunkt. Det er tydeligt, at gradueret vækstregulering udviser den største biomasse medio juli og efterfølgende det kraftigste fald i NDVI, således at gradueret vækstregulering udviser den laveste biomasse ultimo august kort før høst.

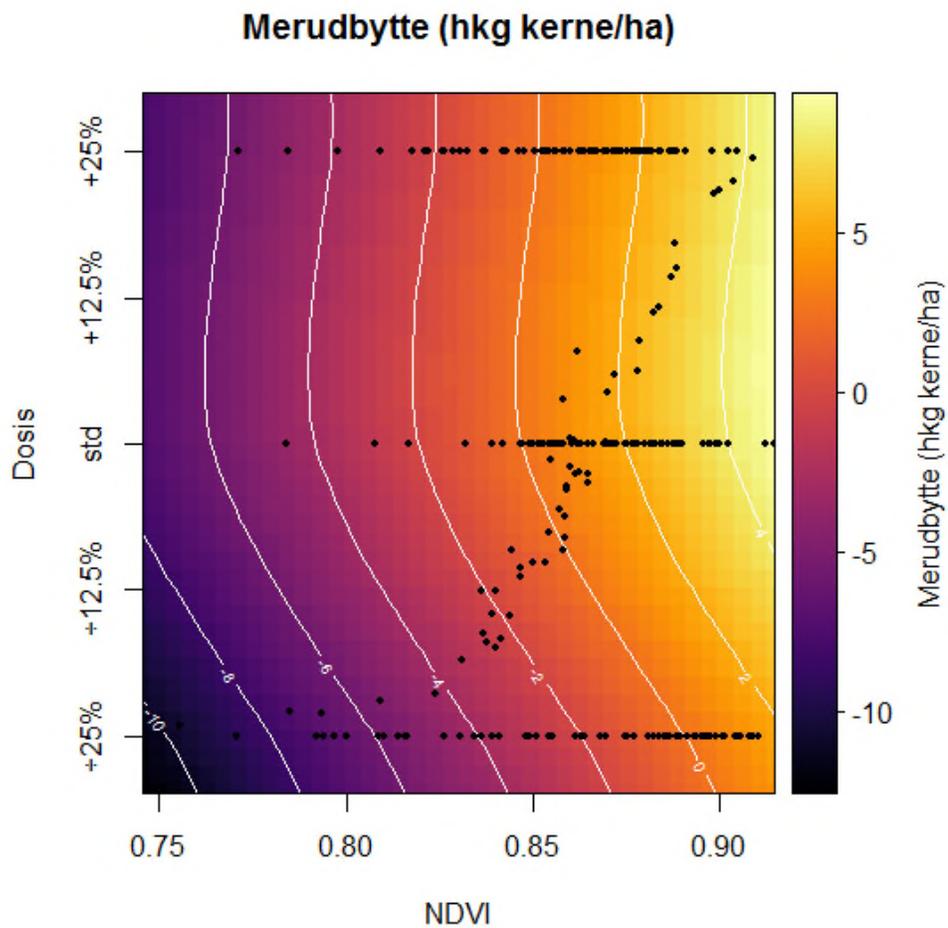


Fig. 9: Estimeret udbyttelandskab som funktion af Dosis og NDVI målt før tildelingen (model 3). Det fremgår af grafen, at udbyttet falder for alle NDVI-niveauer når dosis bliver mindre end standard dosis, men jo mindre NDVI, desto mere drastisk er udbyttefaldet med mindsket dosis. Omvendt viser grafen, at der indenfor det afprøvede spænd af doser større end standard dosis (op til +25%) ikke er fundet evidens for en udbyttefremgang ved øget dosis. Dette gælder alle NDVI-niveauer.

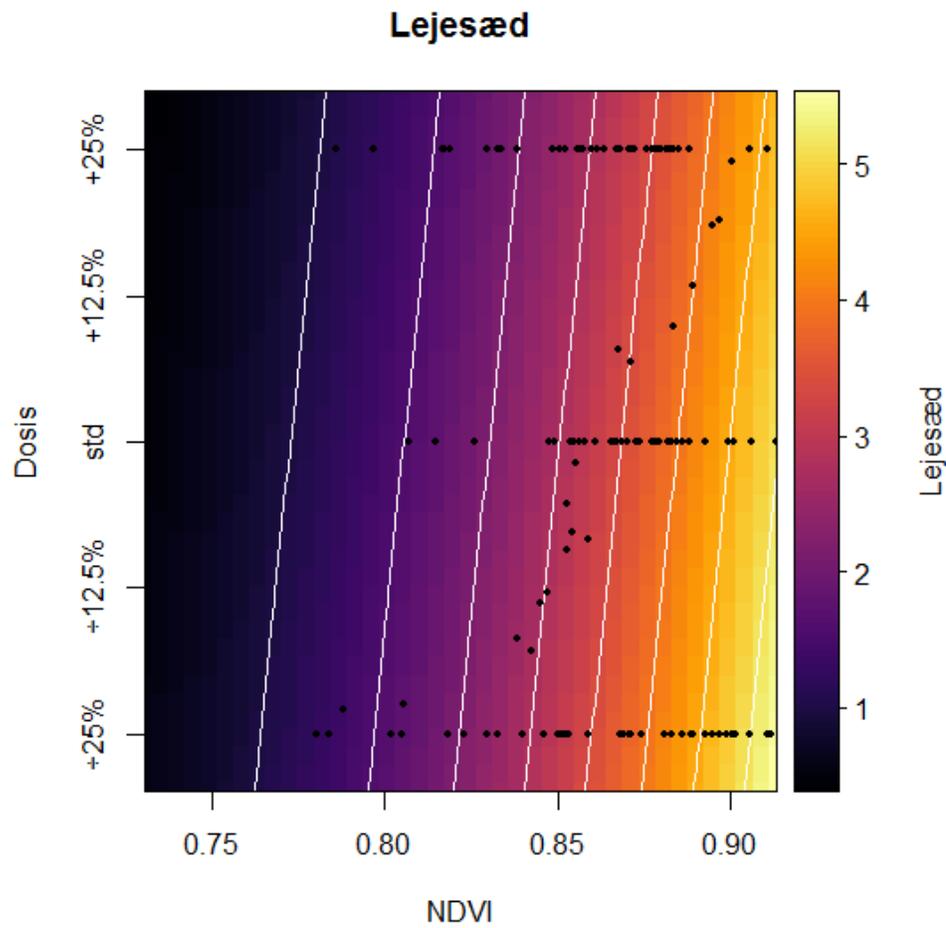
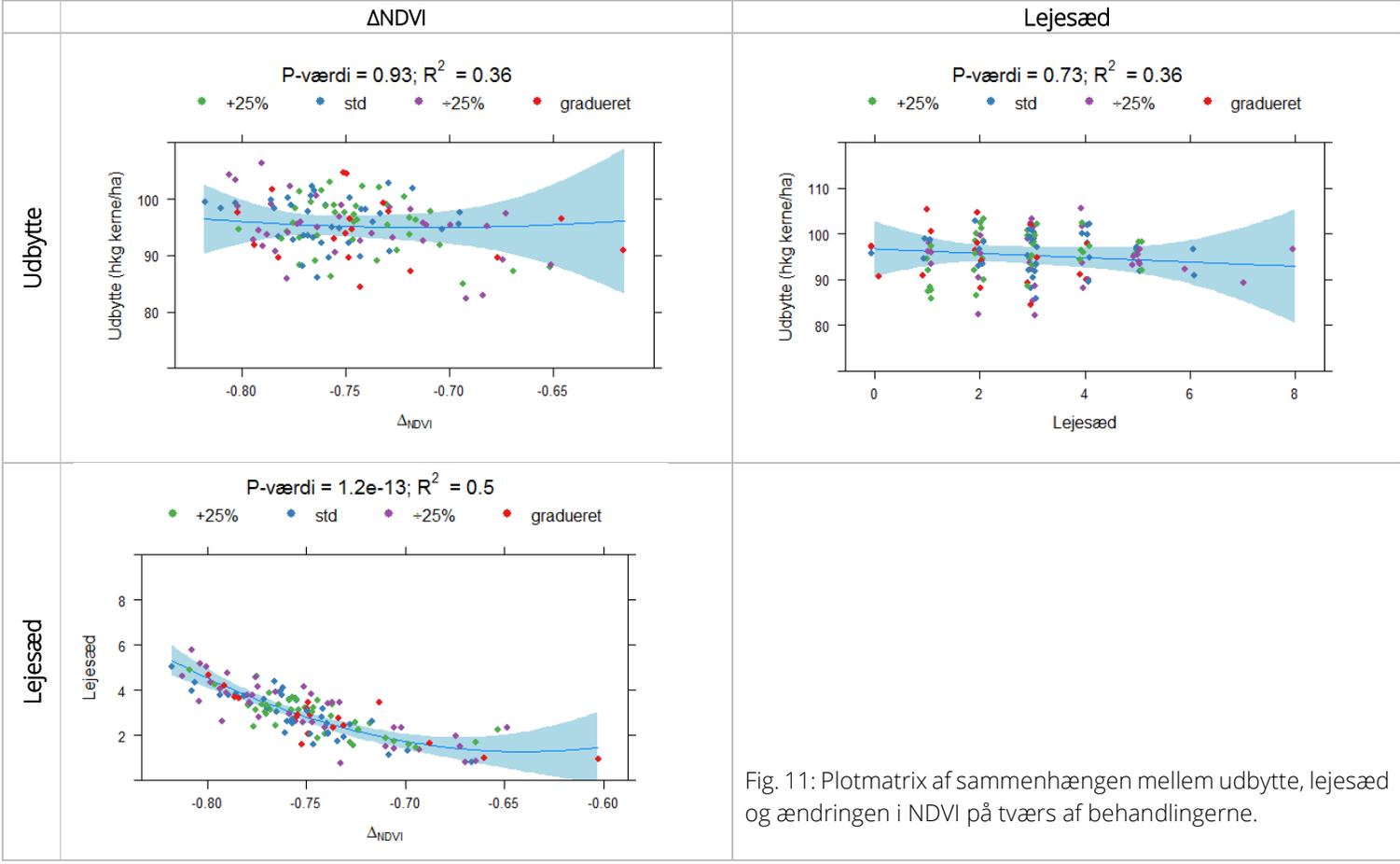


Fig. 10: Som Fig. 9, men for Lejesæd. Det fremgår af grafen, at lejesædet stiger omtrentligt eksponentielt med stigende NDVI målt den 25.04.2019, men falder lineært med stigende dosis.





TEKNOLOGISK
INSTITUT