

Statistik-notat

102556 - Miljøvenlige dyrkningssystemer

Esben Høegholm Lykke

2024-12-20

Indholdsfortegnelse

1	Baggrund	2
2	Formål	2
3	Hovedkonklusioner	2
4	Data	2
5	Modeller	6
6	Kumulativ sum af vandbalance efter juli	8
6.1	Hovedeffekter	8
6.1.1	Såtidspunkt	9
6.1.2	Sort	9
6.1.3	Vandbalance	9
6.2	Interaktioner	12
6.2.1	Såtidspunkt:vandbalance	12
6.2.2	Såtidspunkt:sort	12
6.2.3	Sort:vandbalance	12
6.2.4	Sort:vandbalance:såtidspunkt	14
7	Begrænsninger og forbehold	14

1 Baggrund

Notatet her er en samlet deskriptiv rapport over de rå data (seneste data er fra 2024), der indgår i analysen af vinterhvede sorters egnethed til tidlig såning (projektnummer: 102556). Ligeledes er det en analyse af sammenhænge mellem udbyttet og sorter, såtidspunkt samt lokaliteter. Der er tidligere i andre analyser ikke fundet trevejsvekselvirkning mellem sorter, såtidspunkt og lokalitet, hvor lokalitet var udtrykt som graddage. Dog viste disse analyser signifikante tovejsvekselvirkninger på tværs af både sorter, såtidspunkt og graddage, hvilket indikerede, at sorterne responderede forskelligt på disse forhold.

2 Formål

I forlængelse af tidligere analyser undersøges det i den nuværende analyse, om vandbalance kan anvendes som en indikator for lokalitet, samt hvordan vandbalance påvirker udbyttet både direkte og i samspil med sorter og såtidspunkt. Den kumulative vandbalance på den sidste dag af perioden (31. juli) er brugt i denne analyse, som mål for vandbalancen. I senere analyser, kan vi kigge nærmere på alternative vandbalancemål.

3 Hovedkonklusioner

Der blev fundet signifikante hovedeffekter for alle tre faktorer: kumulativ vandbalance ($p = 0.006$), såtidspunkt ($p < 0.001$) og sort ($p < 0.001$). Derudover blev der fundet en signifikant vekselvirkning mellem kumulativ vandbalance og såtidspunkt ($p = 0.009$), mens andre interaktioner, herunder trevejsvekselvirkningen mellem kumulativ vandbalance, såtidspunkt og sort, ikke var signifikante ($p = 0.092$).

Såtidspunktets effekt på udbyttet varierer afhængigt af vandbalance. Tidlig såning resulterer i højere udbytte under tørre forhold (-50 mm: 566 kg/ha, 95% CI: 296–836) end sen såning (454 kg/ha, 95% CI: 184–723). Ved moderate vandbalancer (0 mm) er forskellen mellem tidlig og sen såning minimal, mens sen såning præsterer bedre under våde forhold (+50 mm: -248 kg/ha, 95% CI: -519–23) sammenlignet med tidlig såning (-370 kg/ha, 95% CI: -641–99).

Selvom den overordnede interaktion mellem sort og såtidspunkt ikke er signifikant, viser analysen, at to sorter, Blanding_2024 og Pacman, har signifikante forskelle i udbytte mellem tidlig og sen såning. For Blanding_2024 reducerer tidlig såning udbyttet med 56.7 kg/ha sammenlignet med sen såning ($p < 0.001$). Tilsvarende ses for Pacman en reduktion på 40.7 kg/ha ved tidlig såning sammenlignet med sen såning ($p < 0.001$). Dette indikerer, at såtidspunkt spiller en vigtig rolle for disse specifikke sorter.

4 Data

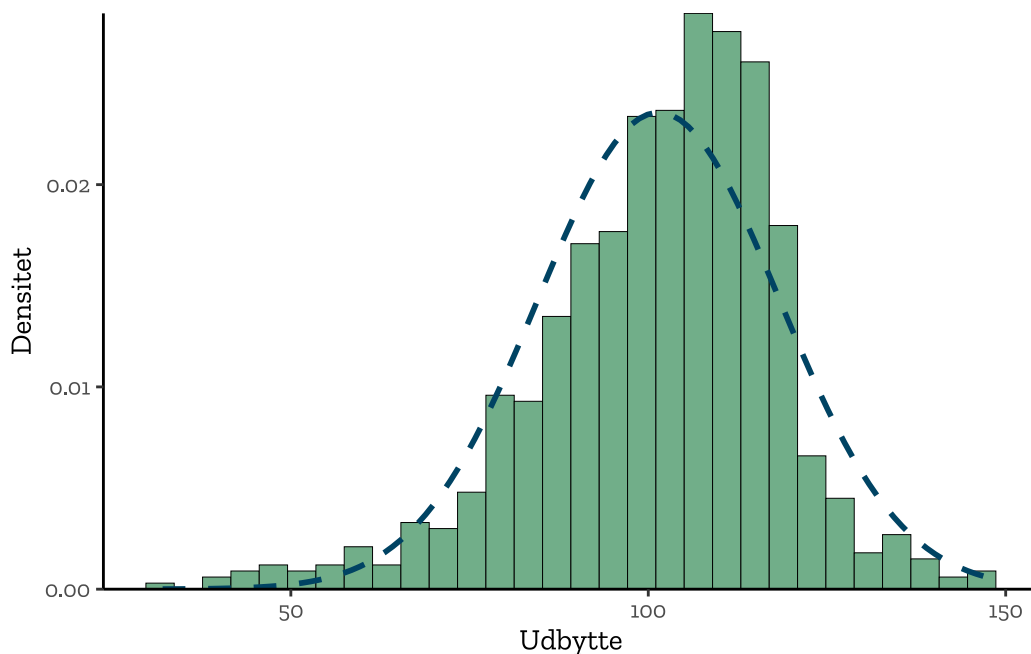
I analyserne er der kun medtaget data fra forsøg, hvor der både har været tidlig og sen såning. Det vil sige vi har forsøg med fra plannr 01023 og 01025. Der er i alt 842 observationer fra 36 unikke sorter.

Dertil er data på nedbør og potentiel fordampning, trukket fra DMI, tilføjet data. Disse data er fra 10x10 km gridceller, som overlapper med de forsøgssteder, hvor forsøgene er udført. For hvert forsøgssted er følgende vandbalancemål beregnet for perioden [april; juli]:

- Antal dage i underskud (`april_july_days_in_deficit`): Det samlede antal dage, hvor vandbalancen er under en specificeret grænse (f.eks. -50 mm).
- Antal dage i overskud (`april_july_days_in_surplus`): Det samlede antal dage, hvor vandbalancen overstiger en specificeret grænse (f.eks. 50 mm).
- Antal dage i balance (`april_july_days_in_balance`): Det samlede antal dage, hvor vandbalancen ligger mellem de to grænseværdier ($-50 \text{ mm} < \text{balance} < 50 \text{ mm}$).
- Gennemsnitlig kumulativ vandbalance (`april_july_mean_cum_wb`): Den gennemsnitlige værdi af den kumulative vandbalance i perioden.
- Kumulative vandbalance (`april_july_last_cum_wb`): Den kumulative vandbalance på den sidste dag af perioden (31. juli).

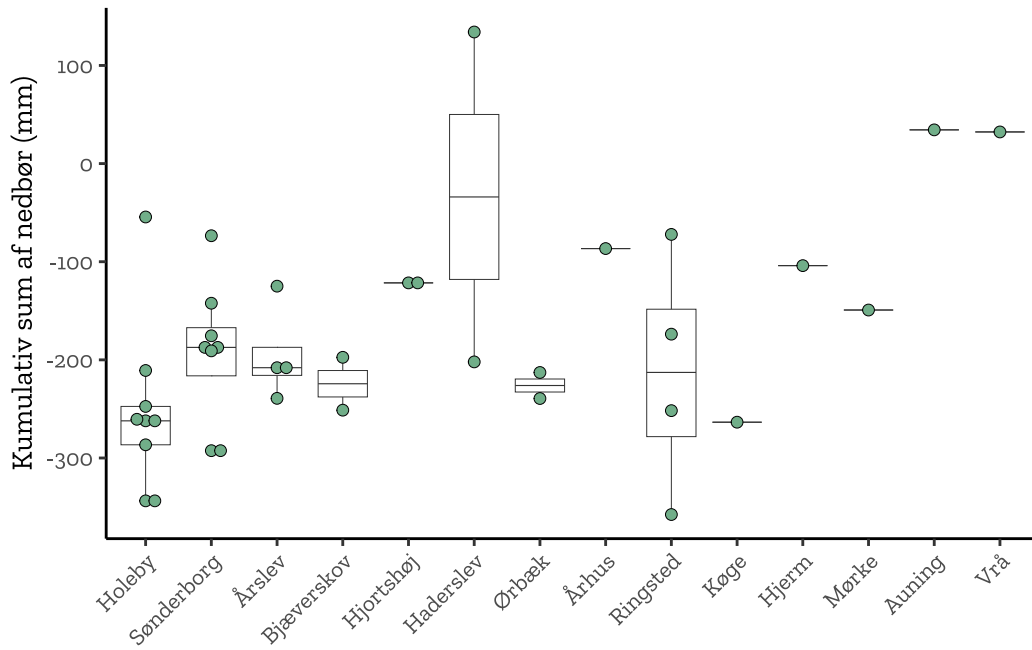
En vigtig antagelse her er, at vandbalancen den 1. april er lig med 0, hvilket er vores udgangspunkt for beregningerne.

I analysen er der valgt at fjerne sorter med 4 eller færre observationer, for få observationer kan resultere i usikre estimater. Små grupper kan føre til høj variation, skævhed og dårlig sammenlignelighed mellem sorter.

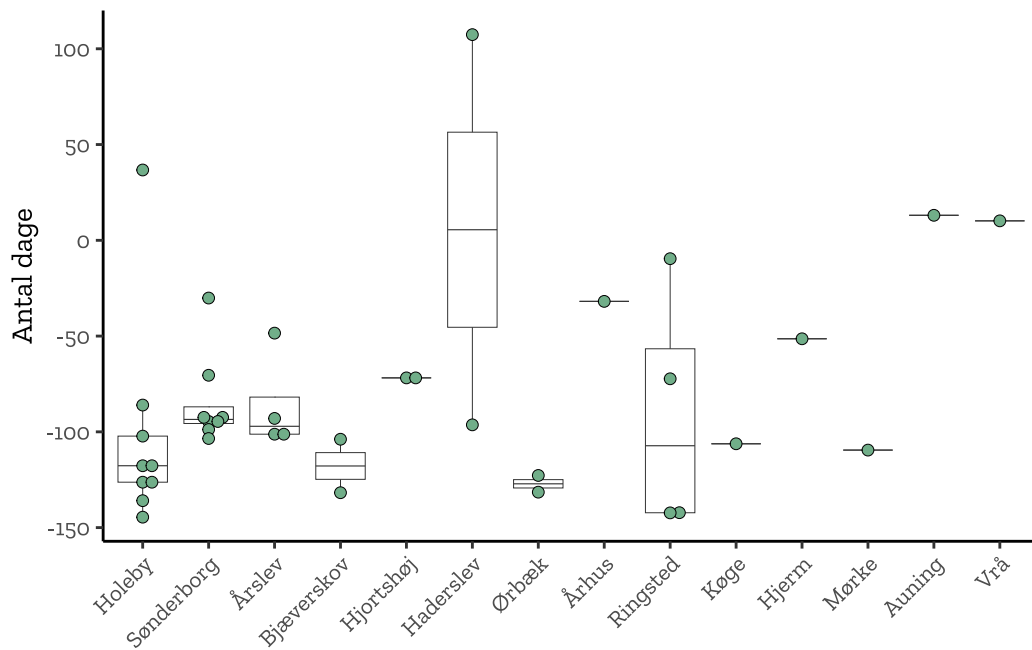


Figur 1: Histogram med udbytte og normalfordeling som stiplede linje.

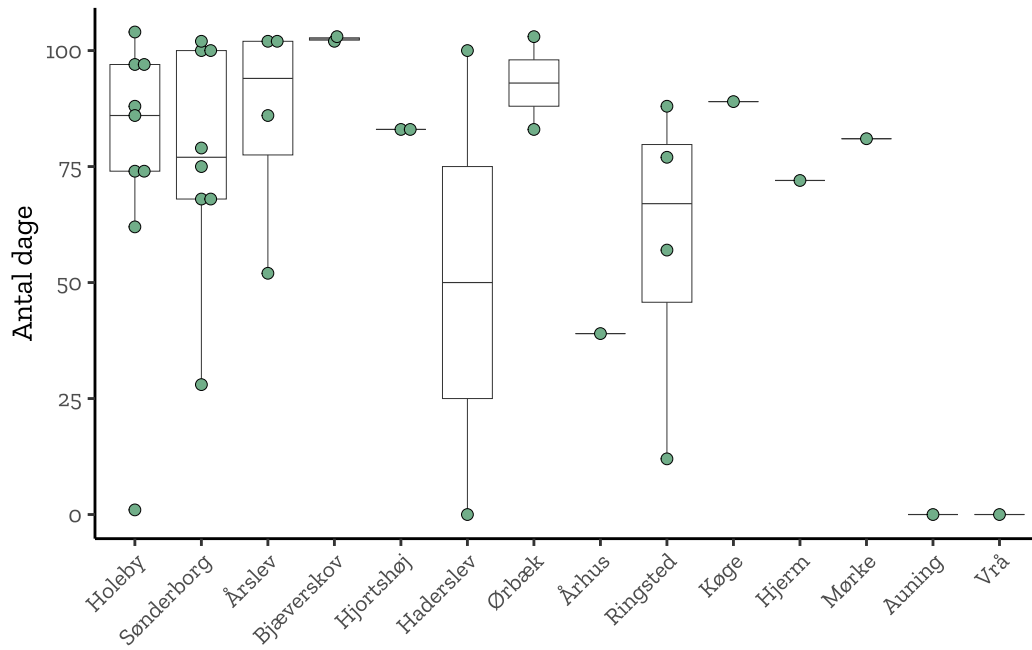
Figur 1 viser en tæt på normalfordelt fordeling af udbytteværdierne med en svag asymmetri i retning af højre hale. Dette indikerer, at vi som udgangspunkt ikke behøver at transformere data eller benytte glmer-modeller. Hvis modellen viser problemer med antagelserne (fx heteroskedasticitet eller stærk asymmetri i residualerne), kan det stadig være nødvendigt at overveje transformation eller mere avancerede modeller som glmer.



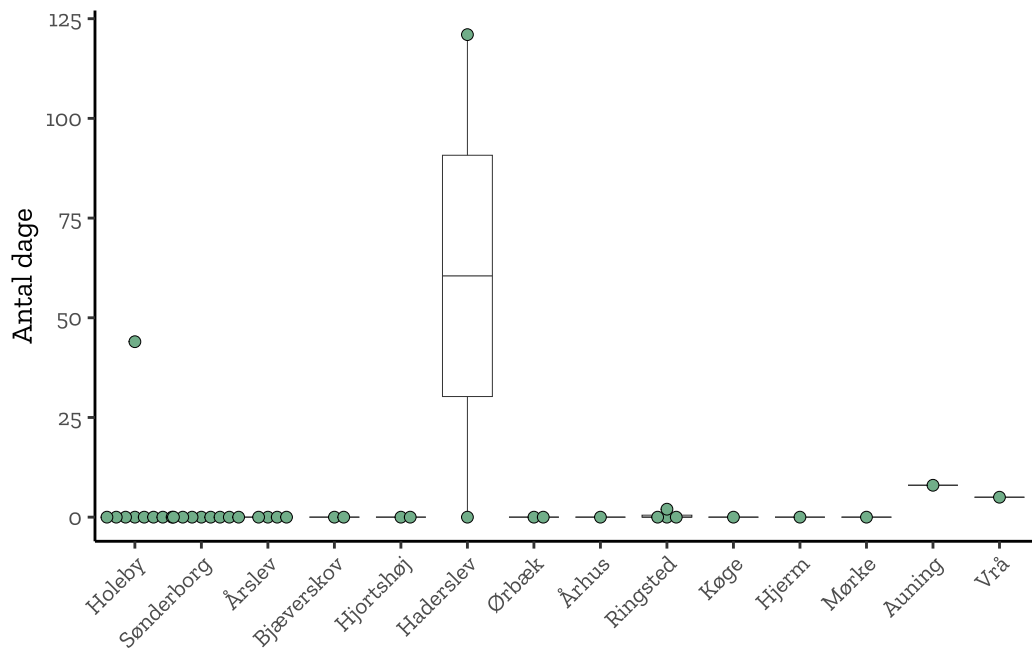
Figur 2: Boksplot med kumulativ sum af vandbalancen per lokation. Punkter repræsenterer individuelle markforsøg.



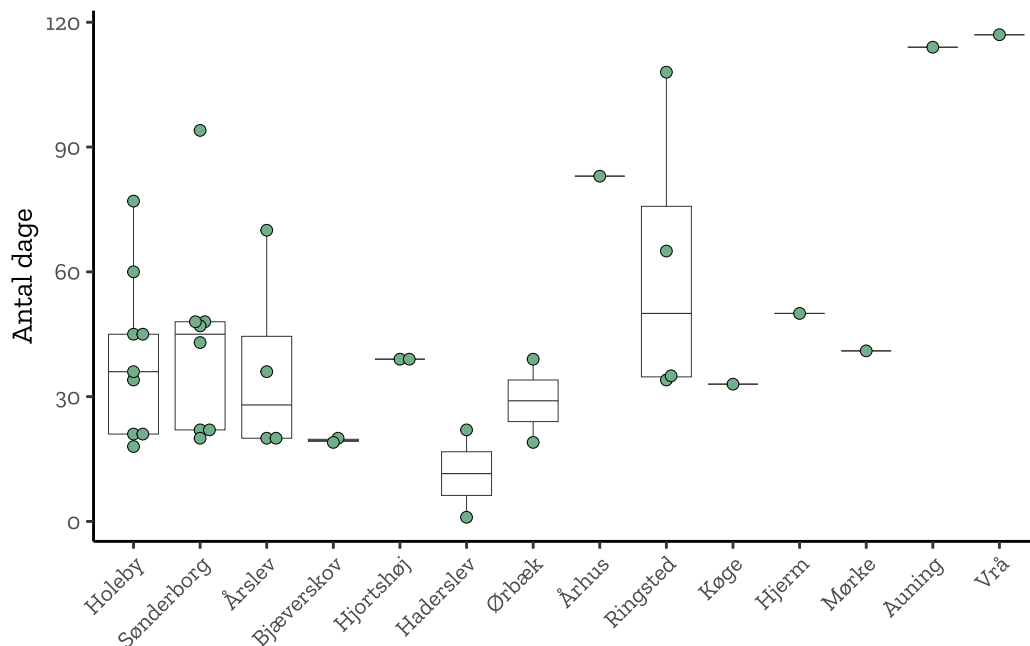
Figur 3: Boksplot med gennemsnitterne i vandbalance per lokation. Punkter repræsenterer individuelle markforsøg.



Figur 4: Boksplot med antal dage i vandbalanceunderskud (< -50 mm) per lokation. Punkter repræsenterer individuelle markforsøg.



Figur 5: Boksplot med antal dage i vandbalanceoverskud (> 50 mm) per lokation. Punkter repræsenterer individuelle markforsøg.



Figur 6: Boksplot med antal dage i vandbalance ($-50 \text{ mm} < \text{balance} < 50 \text{ mm}$) per lokation. Punkter repræsenterer individuelle markforsøg.

I Figur 2 fremgår det, at der lokationer i mellem ofte ses en negativ kumulativ vandbalancesum. Kun Haderslev, Auning og Vrå viser positive målinger (i Haderslev kun i 2024). Figur 3 viser gennemsnittet af vandbalancen pr. lokation, hvor Haderslev skiller sig ud med en højere værdi (2024) sammenlignet med de andre lokationer. Samtidig viser flere lokationer, såsom Holeby og Årslev, negative gennemsnitsværdier, hvilket igen indikerer vedvarende vandunderskud.

I Figur 4 ses antallet af dage med vandunderskud ($< 50 \text{ mm}$), hvor Holeby og Årslev har flest dage sammenlignet med de øvrige lokationer. Modsat viser Figur 5, at vandoverskuds dage ($> 50 \text{ mm}$) er sjældne på de fleste lokationer, med undtagelse af Haderslev, der skiller sig ud med betydeligt flere dage i overskud.

Endelig fremgår det af Figur 6, at balancerede vand dage ($-50 \text{ mm} < \text{balance} < 50 \text{ mm}$) varierer mellem lokationerne. Haderslev har relativt få balancerede dage, mens lokationer som Auning og Vrå ligger mere stabilt inden for dette interval.

5 Modeller

I de følgende analyser vælger vi at bruge sidste kumulative vandbalance (`april_july_last_cum_wb`), som vores vandbalancemål. Vi anvender mixed models til at undersøge sammenhænge mellem udbytte og faktorerne sort, såtidspunkt og vandbalance. `plannr_lbnr` inden for `høstår` er modelleret som en tilfældig effekt for at tage højde for variation mellem forsøgssteder og år (Hver `plannr_lbnr` er unik inden for et specifikt `høstår`, hvilket betyder, at lokationerne er indlejret i høstårene.), mens `sort`, `såtidspunkt` og vandbalancemål er modelleret som faste effekter.

Tabel 1: Antal observationer pr sort per landsforsøgsenhed.

Sort	Lolland-Falster	Sønderjysk	Fyn	Sjælland	Tekn. Inst. Midt	Ytteborg Vest	Djursland	Landbo Nord
Benchmark	8	10	4	4	4	—	—	—
Blanding_2019	2	4	2	—	2	—	—	—
Blanding_2020	2	2	2	2	—	—	—	—
Blanding_2021	2	2	2	2	2	—	—	—
Blanding_2022	2	2	2	2	—	2	—	—
Blanding_2023	2	2	2	2	—	—	2	—
Blanding_2024	2	2	—	2	—	—	2	2
Champion	6	6	4	6	—	2	4	2
Chevignon	4	4	4	4	2	—	—	—
Drachmann	6	8	4	2	2	—	—	—
Elixer	4	6	2	—	2	—	—	—
Graham	10	12	8	6	4	2	—	—
Guinness	4	4	2	4	—	—	4	2
Heerup	10	12	8	10	2	2	4	2
Informer	8	10	8	6	4	2	—	—
KWS_Colosseum	6	6	6	6	2	2	—	—
KWS_Dawsum	4	4	2	4	—	—	4	2
KWS_Extase	10	12	10	8	4	2	2	—
KWS_Firefly	8	10	6	4	4	—	—	—
KWS_Lili	4	6	2	—	2	—	—	—
KWS_Scimitar	8	10	6	4	4	—	—	—
KWS_Zyatt	2	4	2	—	2	—	—	—
Kalmar	6	8	4	2	2	—	—	—
Kubik	4	4	2	4	—	—	4	2
Kvium	6	10	6	4	4	2	—	—
LG_Skyscraper	4	6	4	4	2	—	—	—
Momentum	4	6	4	4	2	2	—	—
Pacman	2	2	—	2	—	—	2	2
Pondus	8	10	6	8	2	2	4	2
RGT_Bairstow	4	4	2	4	—	—	4	2
RGT_Saki	4	4	4	4	2	—	—	—
RGT_Stokes	4	4	2	4	—	—	4	2
RGT_Universe	2	2	2	2	—	—	—	—
Rembrandt	6	6	6	6	2	2	2	—
Sheriff	12	14	12	10	10	—	—	—
Torp	4	6	2	—	2	—	—	—

Tabel 2: Sammenligning af modellerne m1 og m2. R^2 (R^2 cond) viser den samlede forklarede varians fra både faste og tilfældige effekter, og marginal R^2 (R^2 marg) viser den forklarede varians fra de faste effekter alene.

Name	AIC	AIC_wt	AICc	AICc_wt	BIC	BIC_wt	R^2 (cond.)	R^2 (marg.)	ICC	RMSE	Sigma
m1	5,981.85	1.00	6,044.55	1.00	6,678.01	1.00	0.84	0.21	0.80	6.26	7.05
m2	6,067.04	0.00	6,221.96	0.00	7,104.18	0.00	0.83	0.22	0.79	6.03	7.20

Såtidspunkt er modelleret som en 2.-gradspolynomium, udtrykt som dage efter 1. september, i tråd med tidligere analyser. Dette gør det muligt at fange eventuelle ikke-lineære sammenhænge, hvor udbyttet eksempelvis kan stige ved senere såning, men falde efter en vis grænse.

Vandbalance bruges i analyserne som et udtryk for lokationens klimatiske forhold, idet det antages, at visse lokationer konsekvent har højere eller lavere vandbalance. Disse mønstre er illustreret i boksplots ovenfor.

6 Kumulativ sum af vandbalance efter juli

Vi definerer to modeller for at undersøge udbytte som en funktion af sort, vandbalance og såtid. Den første model inkluderer en interaktion mellem sort, den kumulative vandbalance i april-juli og såtid (tidlig/sen), samt tilfældige effekter for forsøgsår og placering. Den anden model tilføjer en ikke-lineær effekt af såtid (antal dage efter 1. september) for at undersøge, om en mere kompleks sammenhæng forbedrer forklaringsniveauet. Resultaterne sammenlignes for at vurdere modellernes præstation.

Altså specificerer vi modellerne således:

- m1: udbytte \sim sort * kumulativ vandbalance * såtid + (1 | høstår/forsøgsnummer)
- m2: udbytte \sim sort * kumulativ vandbalance * Poly(dage efter 1. sep., 2) + (1 | høstår/forsøgsnummer)

Det ses i Tabel 2, at m1 har en markant bedre balance mellem fit og antal parametre sammenlignet med m2. Dette fremgår af lavere AIC, AICc og BIC værdier for m1. Selvom m2 har en lidt bedre fit med en marginalt lavere RMSE og lidt højere marginal R^2 (0.217 vs. 0.213), er forskellen minimal, og den ekstra kompleksitet i m2 retfærdiggør ikke dens brug. Begge modeller har næsten identisk R^2 (cond.) (0.84 for m1 vs. 0.83 for m2), hvilket understreger, at m1 forklarer data næsten lige så godt som m2. En likelihood ratio test bekræfter, at den øgede kompleksitet i m2 ikke er berettiget ($p = 0.849$).

6.1 Hovedeffekter

ANOVA-analysen i Tabel 3 viser, at der er signifikante hovedeffekter af sort ($p < 0.001$), kumulativ vandbalance ($p = 0.006$) og såtidspunkt ($p < 0.001$) på udbyttet. Derudover findes en signifikant vekselvirkning mellem kumulativ vandbalance og såtidspunkt ($p = 0.009$). Ingen af de øvrige interaktioner, herunder tre-vejs interaktionen mellem sort, kumulativ vandbalance og såtidspunkt ($p = 0.092$), er signifikante. Dette indikerer, at effekterne af kumulativ vandbalance og såtidspunkt varierer, men ikke afhænger af sort.

Tabel 3: Resultater fra ANOVA på m1 (Satterthwaite's), der viser F-værdier og tilhørende p-værdier for effekterne af sort, kumulativ vandbalance (april-juli), såtidspunkt og deres interaktioner på udbyttet.

Factor	F-værdi	p-værdi
Sort	1.734	0.006
Kumulativ vandbalance (april-juli)	12.463	0.006
Såtidspunkt	22.020	< 0.001
Sort:Kumulativ vandbalance	1.145	0.262
Sort:Såtidspunkt	0.915	0.612
Kumulativ vandbalance:Såtidspunkt	6.885	0.009
Sort:Kumulativ vandbalance:Såtidspunkt	1.342	0.092

Tabel 4: Estimated marginal means for såtidspunkt. Værdierne repræsenterer det forventede gennemsnitlige udbytte med tilhørende 95% konfidensintervaller, baseret på modellen, m1.

Såtidspunkt (tidlig/sen)	Gennemsnitsudbytte	SE	Frihedsgrader
late	102.7 (95.8–109.7)	2.7	5.3
early	98.1 (91.1–105.0)	2.7	5.3

6.1.1 Såtidspunkt

Såtidspunkt har en signifikant effekt på udbyttet ($F = 33.28$, $p < 0.001$). Gennemsnitligt resulterer tidlig såning i et lavere udbytte (98.1, 95% CI: 91.1 til 105), mens sen såning giver et højere udbytte (102.7, 95% CI: 95.8 til 110). Selvom forskellen er statistisk signifikant, er effektens størrelse relativt lille og bør overvejes i en praktisk kontekst.

6.1.2 Sort

Sort har en stærk og signifikant effekt på udbyttet ($F = 4.01$, $p < 0.001$). Der ses betydelige variationer mellem sorter, med nogle sorter som KWS_Lili og Torp, der har lavere gennemsnitlige udbytter (hhv. 89.6 og 89.3, 95% CI: 81.7-97.5 og 81.4-97.3), og andre sorter som Guinness og Pacman med højere udbytter (hhv. 108.2 og 126.4, 95% CI: 100.7-114.6 og 112.6-140.3).

6.1.3 Vandbalance

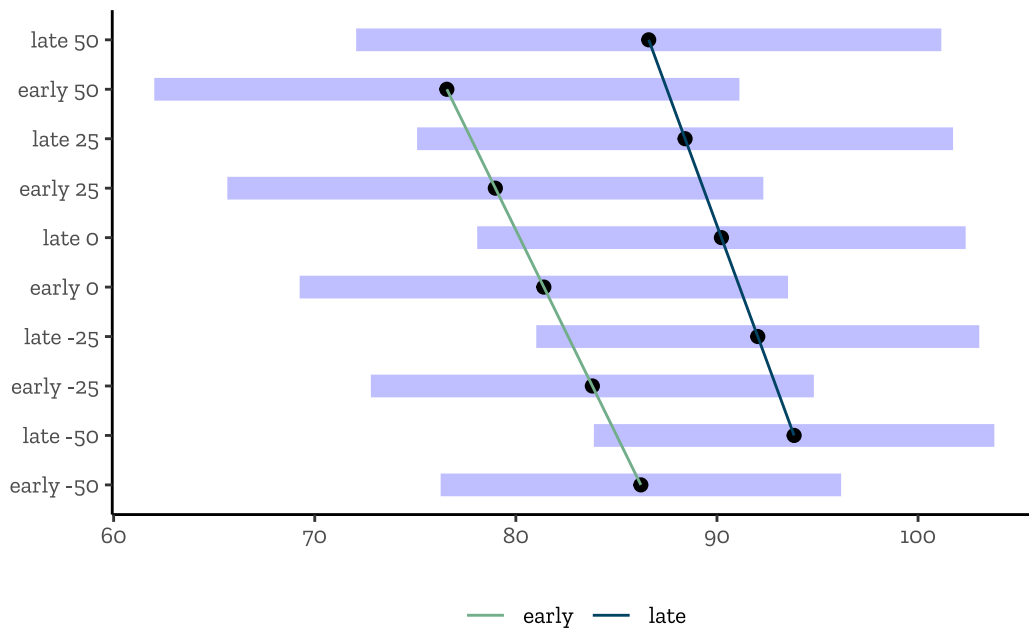
Kumulativ vandbalance i perioden april-juli har en signifikant effekt på udbyttet ($F = 12.46$, $p = 0.006$). Ved lave niveauer af vandbalance (-50 mm) observeres et gennemsnitligt udbytte på 90 (95% CI: 88.1 til 99.9), mens udbyttet falder ved høje niveauer af vandbalance (+50 mm), hvor det gennemsnitlige udbytte er 81.6 (95% CI: 67.1 til 96.0). Ved en neutral vandbalance (0) ses et gennemsnitligt udbytte på 100 (95% CI: 93.4 til 107.4). Effekten af den kumulative vandbalance kan dog ikke ses isoleret, da resultaterne indikerer en vekselvirkning med såtidspunkt.

Tabel 5: Estimated marginal means for sorter. Værdierne repræsenterer det forventede gennemsnitlige udbytte med tilhørende 95% konfidensintervaller, baseret på modellen, m1.

Sort	Gennemsnitsudbytte (95% CI)	SE	Frihedsgrader
Pacman	126.4 (112.6–140.3)	7.0	196.2
Guinness	108.2 (101.0–115.5)	3.3	12.0
Champion	107.7 (100.7–114.6)	3.0	8.2
Kubik	106.2 (99.0–113.4)	3.3	12.0
KWS_Dawsum	105.9 (98.7–113.1)	3.3	12.0
Pondus	105.9 (99.0–112.8)	2.9	7.0
Blanding_2023	105.7 (97.3–114.1)	4.1	28.4
Blanding_2022	104.3 (96.3–112.3)	3.8	21.7
RGT_Saki	102.5 (95.4–109.6)	3.2	10.1
LG_Skyscraper	102.1 (95.0–109.2)	3.1	9.3
Kvium	102.0 (95.0–108.9)	3.0	7.4
KWS_Extase	101.8 (94.9–108.8)	2.9	6.7
Heerup	101.6 (94.7–108.5)	2.9	6.4
RGT_Stokes	101.5 (94.3–108.7)	3.3	12.0
KWS_Scimitar	101.2 (94.2–108.2)	3.0	7.8
KWS_Colosseum	101.2 (94.2–108.1)	3.0	8.0
Blanding_2024	101.0 (87.2–114.9)	7.0	196.2
RGT_Bairstow	100.9 (93.7–108.1)	3.3	12.0
KWS_Firefly	100.7 (93.7–107.7)	3.0	7.8
Blanding_2020	100.1 (90.7–109.5)	4.7	45.5
Rembrandt	99.8 (92.8–106.8)	3.0	7.9
Informer	99.4 (92.5–106.4)	3.0	7.1
Blanding_2021	98.3 (90.2–106.5)	3.9	23.5
Blanding_2019	98.1 (90.1–106.0)	3.8	19.3
Graham	98.0 (91.1–105.0)	2.9	7.1
Momentum	97.9 (90.9–105.0)	3.1	8.9
Chevignon	97.3 (90.2–104.4)	3.2	9.9
Drachmann	96.5 (89.0–103.9)	3.5	13.3
KWS_Zyatt	96.0 (88.1–104.0)	3.8	19.3
Sheriff	95.0 (87.9–102.1)	3.0	6.7
RGT_Universe	94.9 (85.5–104.3)	4.7	45.5
Benchmark	92.7 (85.3–100.2)	3.4	11.2
Kalmar	92.1 (84.6–99.5)	3.5	13.3
Elixer	92.0 (84.1–99.9)	3.8	18.8
KWS_Lili	89.6 (81.7–97.5)	3.8	18.8
Torp	89.3 (81.4–97.3)	3.8	18.8

Tabel 6: Estimated marginal means for vandbalancen. Værdierne repræsenterer det forventede gennemsnitlige udbytte med tilhørende 95% konfidensintervaller, baseret på modellen, m1.

Vandbalance, mm	Gennemsnitsudbytte	SE	Frihedsgrader
-50.0	90.0 (80.1–99.9)	4.4	8.6
-40.0	89.2 (78.9–99.5)	4.6	8.9
-30.0	88.3 (77.6–99.1)	4.8	9.2
-20.0	87.5 (76.3–98.7)	5.0	9.5
-10.0	86.7 (75.0–98.3)	5.2	9.7
0.0	85.8 (73.7–97.9)	5.4	10.0
10.0	85.0 (72.4–97.5)	5.6	10.2
20.0	84.1 (71.1–97.1)	5.9	10.4
30.0	83.3 (69.8–96.8)	6.1	10.6
40.0	82.4 (68.5–96.4)	6.3	10.8
50.0	81.6 (67.1–96.0)	6.6	10.9



Figur 7: Interaktionen mellem såtidspunkt og kumulativ vandbalance (april-juli) på udbyttet. Grafen illustrerer, hvordan tidlig såning (rød linje) og sen såning (blå linje) påvirker udbyttet ved forskellige niveauer af vandbalance.

Tabel 7: Interaktionseffekten mellem såtidspunkt og kumulativ vandbalance (april-juli) på udbyttet. Tabellen viser de estimerede gennemsnitlige udbytter (kg/ha) ved forskellige niveauer af vandbalance (-50, 0, 50) for tidlig og sen såning med tilhørende standardfejl og konfidensintervaller (95% CI).

Såtidspunkt	Vandbalance, mm	Gennemsnitsudbytte	SE	Frihedsgrader
early	-50.0	86.2 (76.3–96.2)	4.4	9.2
late	-50.0	93.8 (83.9–103.8)	4.4	9.2
early	-25.0	83.8 (72.8–94.8)	4.9	10.0
late	-25.0	92.0 (81.0–103.0)	4.9	10.0
early	0.0	81.4 (69.2–93.5)	5.5	10.7
late	0.0	90.2 (78.1–102.4)	5.5	10.7
early	25.0	79.0 (65.7–92.3)	6.1	11.2
late	25.0	88.4 (75.1–101.7)	6.1	11.2
early	50.0	76.6 (62.0–91.1)	6.7	11.7
late	50.0	86.6 (72.1–101.2)	6.7	11.7

Tabel 8: Forskel i udbytte mellem tidlig og sen såning for sorter, hvor forskellen er signifikant. Tabellen viser estimatet for forskellen (kg/ha), standardfejl (SE), frihedsgrader (df), t-værdi og p-værdi.

contrast	Sort	estimate ± SE	df	t.ratio	p.value
early - late	Blanding_2024	-56.7 ± 12.2	661.1	-4.7	0.0
early - late	Pacman	-40.7 ± 12.2	661.1	-3.3	0.0

6.2 Interaktioner

6.2.1 Såtidspunkt:vandbalance

I Figur 7 vises den signifikante interaktion mellem såtidspunkt og den kumulative vandbalance (april-juli) på udbyttet ($F = 6.88$, $p = 0.009$).

Ved lave vandbalancer (-50 mm) er udbyttet højere ved sen såning (93.8 kg/ha, 95% CI: 83.9–104.0) end ved tidlig såning (86.2 kg/ha, 95% CI: 76.3–96.2). Forskellen mellem såtidspunkter mindskes ved moderate vandbalancer (0 mm), hvor sen såning giver et gennemsnitligt udbytte på 90.2 kg/ha (95% CI: 78.1–102.0) og tidlig såning 81.4 kg/ha (95% CI: 69.2–93.5). Ved høj vandbalance (50 mm) fastholdes trenden, hvor sen såning resulterer i et højere udbytte (86.6 kg/ha, 95% CI: 72.1–101.0) sammenlignet med tidlig såning (76.6 kg/ha, 95% CI: 62.0–91.1).

6.2.2 Såtidspunkt:sort

Den samlede interaktion mellem sorter og såtidspunkt er ikke signifikant ($p = 0.161$), hvilket indikerer, at forskellene mellem tidlig og sen såning på tværs af sorter generelt er små. For de fleste sorter er forskellen mellem tidlig og sen såning ikke signifikant, hvilket understøtter denne konklusion. Dog er der bemærkelsesværdige undtagelser, som f.eks. Blanding_2024, der har et markant højere udbytte ved sen såning (129.4, 95% CI: 111.1–147.6) sammenlignet med tidlig såning (72.7, 95% CI: 54.4–91.0). Tilsvarende ses højere udbytter ved sen såning for Pacman. Sorter som Kalmar, KWS_Lili og Torp viser ingen væsentlige forskelle mellem såtidspunkter, mens sorter som Champion og Guinness generelt har høje udbytter uanset såtidspunkt.

I Tabel 8 kan vi se, at Blanding_2024 og Pacman har signifikante forskelle i udbytte mellem tidlig og sen såning. For Blanding_2024 reducerer tidlig såning udbyttet med 56.7 kg/ha sammenlignet med sen såning ($p < 0.001$). Tilsvarende ses for Pacman en reduktion på 40.7 kg/ha ved tidlig såning sammenlignet med sen såning ($p < 0.001$). Dette indikerer, at såtidspunkt spiller en vigtig rolle for disse specifikke sorter.

6.2.3 Sort:vandbalance

Selvom interaktionen mellem sorter og vandbalance ikke var signifikant i den overordnede analyse ($p = 0.26$), kan vi i Tabel 9 se gennemsnitsudbyttet for alle sorter ved lave (-50 mm), moderate (0 mm) og høje (+50) niveauer af kumulativ vandbalance (april-juli). Der ses en svag tendens til, at udbyttet falder med stigende vandbalance for næsten alle sorter, hvilket indikerer en negativ sammenhæng mellem vandbalance og udbytte.

Tabel 9: Interaktionseffekten mellem vandbalance og sort på gennemsnitligt udbytte. Resultaterne er præsenteret med gennemsnitsværdier (emmean) og 95% konfidensintervaller (CI).

Sort	Vandbalance, mm	Gennemsnitsudbytte	SE	Frihedsgrader
Kalmar	-50.0	75.0 (61.6–88.3)	6.6	49.1
KWS_Lili	-50.0	74.5 (60.0–89.1)	7.3	68.6
Torp	-50.0	74.8 (60.2–89.3)	7.3	68.6
Elixer	-50.0	80.6 (66.0–95.1)	7.3	68.6
Graham	-50.0	90.8 (79.9–101.6)	5.1	17.7
Drachmann	-50.0	86.9 (73.5–100.2)	6.6	49.1
KWS_Firefly	-50.0	92.2 (81.1–103.2)	5.3	19.9
KWS_Scimitar	-50.0	92.7 (81.7–103.8)	5.3	19.9
Benchmark	-50.0	82.5 (69.7–95.4)	6.3	32.7
Sheriff	-50.0	84.8 (73.7–95.8)	5.3	20.7
Blanding_2019	-50.0	86.1 (68.1–104.0)	9.1	161.3
Informer	-50.0	92.3 (81.3–103.2)	5.2	19.7
KWS_Zyatt	-50.0	87.7 (69.8–105.7)	9.1	161.3
KWS_Extase	-50.0	93.4 (82.6–104.1)	5.1	17.7
Kvium	-50.0	95.2 (85.1–105.4)	4.6	11.5
Momentum	-50.0	85.4 (74.0–96.8)	5.5	24.5
Pondus	-50.0	94.9 (84.9–104.8)	4.4	9.5
Heerup	-50.0	93.7 (83.7–103.7)	4.4	9.4
LG_Skyscraper	-50.0	91.6 (80.0–103.2)	5.7	27.2
Blanding_2020	-50.0	88.7 (67.5–109.9)	10.8	275.5
RGT_Universe	-50.0	73.9 (52.7–95.0)	10.8	275.5
Chevignon	-50.0	88.4 (76.8–100.0)	5.7	27.2
KWS_Colosseum	-50.0	92.8 (81.7–104.0)	5.4	22.0
Blanding_2021	-50.0	90.2 (77.7–102.7)	6.2	39.1
Rembrandt	-50.0	92.0 (81.0–103.0)	5.3	20.8
RGT_Saki	-50.0	94.3 (82.5–106.1)	5.8	29.3
Blanding_2022	-50.0	102.1 (86.1–118.1)	8.1	112.4
Champion	-50.0	98.9 (88.9–109.0)	4.5	10.2
Blanding_2023	-50.0	96.4 (78.4–114.5)	9.1	169.1
RGT_Stokes	-50.0	90.8 (80.7–100.9)	4.6	10.7
RGT_Bairstow	-50.0	90.4 (80.2–100.5)	4.6	10.7
Kubik	-50.0	94.4 (84.2–104.5)	4.6	10.7
Guinness	-50.0	96.7 (86.6–106.8)	4.6	10.7
KWS_Dawsum	-50.0	96.2 (86.1–106.4)	4.6	10.7
Blanding_2024	-50.0	94.7 (83.6–105.7)	5.3	19.1
Pacman	-50.0	105.3 (94.2–116.3)	5.3	19.1
Kalmar	0.0	68.0 (51.4–84.6)	8.3	58.6
KWS_Lili	0.0	68.4 (50.4–86.5)	9.1	80.7
Torp	0.0	68.8 (50.8–86.9)	9.1	80.7
Elixer	0.0	75.9 (57.8–93.9)	9.1	80.7
Graham	0.0	87.8 (74.4–101.2)	6.4	21.4
Drachmann	0.0	83.0 (66.3–99.6)	8.3	58.6
KWS_Firefly	0.0	88.7 (74.9–102.4)	6.7	24.2
KWS_Scimitar	0.0	89.3 (75.6–103.0)	6.7	24.2
Benchmark	0.0	78.4 (62.5–94.4)	7.9	37.4
Sheriff	0.0	80.6 (66.7–94.4)	6.7	26.6
Blanding_2019	0.0	81.2 (57.9–104.4)	11.8	212.5
Informer	0.0	89.4 (75.7–103.1)	6.6	24.8
KWS_Zyatt	0.0	84.4 (61.1–107.6)	11.8	212.5
KWS_Extase	0.0	89.9 (76.5–103.3)	6.4	22.0
Kvium	0.0	92.5 (80.0–104.9)	5.8	13.6
Momentum	0.0	80.3 (65.9–94.6)	7.1	32.2
Pondus	0.0	90.4 (78.1–102.6)	5.6	11.0
Heerup	0.0	90.5 (78.2–102.7)	5.6	11.0
LG_Skyscraper	0.0	87.3 (72.6–102.0)	7.2	35.7
Blanding_2020	0.0	84.0 (57.2–110.8)	13.6	322.5
RGT_Universe	0.0	65.3 (38.5–92.1)	13.6	322.5
Chevignon	0.0	84.8 (70.1–99.5)	7.2	35.7
KWS_Colosseum	0.0	89.5 (75.5–103.4)	6.8	27.8
Blanding_2021	0.0	86.9 (70.1–103.6)	8.4	64.8
Rembrandt	0.0	88.8 (75.0–102.6)	6.7	26.4
RGT_Saki	0.0	91.0 (76.1–105.9)	7.4	38.4
Blanding_2022	0.0	101.2 (80.9–121.5)	10.3	141.2
Champion	0.0	95.4 (83.0–107.7)	5.6	11.6
Blanding_2023	0.0	92.7 (69.7–115.6)	11.6	207.3
RGT_Stokes	0.0	86.4 (74.0–98.8)	5.7	11.9
RGT_Bairstow	0.0	86.1 (73.7–98.5)	5.7	11.9
Kubik	0.0	89.5 (77.1–101.9)	5.7	11.9
Guinness	0.0	92.0 (79.6–104.4)	5.7	11.9
KWS_Dawsum	0.0	92.3 (79.9–104.7)	5.7	11.9
Blanding_2024	0.0	92.0 (79.5–104.6)	5.8	13.0
Pacman	0.0	96.6 (84.1–109.2)	5.8	13.0
Kalmar	50.0	61.0 (41.0–81.1)	10.0	64.0
KWS_Lili	50.0	62.3 (40.6–84.0)	10.9	87.1

Tabel 10: Forskel i udbytte mellem kombinationer af sorter, vandbalance (april-juli) og såtidspunkt, baseret på parvise sammenligninger. Resultaterne inkluderer estimerede forskelle (kg/ha), standardfejl (SE), frihedsgrader (df), t-værdier og p-værdier for signifikante kontraster ($p < 0.05$).

contrast	Estimate ± SE	df	t.ratio	pvalue	p_value
(Pacman april_july_last_cum_wb-50 early) - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-25.1 ± 5.9	661.1	-4.2	0.0	0.002
(Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 early) - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-38.5 ± 5.9	661.1	-6.5	0.0	< 0.001
(Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 early) - (Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 late)	-30.7 ± 5.9	661.1	-5.2	0.0	< 0.001
(Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 early) - Pacman april_july_last_cum_wbo late	-26.7 ± 5.5	645.8	-4.9	0.0	< 0.001
(Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 early) - Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo late	-22.9 ± 5.5	645.8	-4.2	0.0	0.002
Pacman april_july_last_cum_wbo early - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-30.6 ± 5.5	645.8	-5.6	0.0	< 0.001
Pacman april_july_last_cum_wbo early - (Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 late)	-22.8 ± 5.5	645.8	-4.2	0.0	0.002
Pacman april_july_last_cum_wbo early - Pacman april_july_last_cum_wbo late	-18.8 ± 4.6	661.1	-4.1	0.0	0.002
Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo early - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-35.9 ± 5.5	645.8	-6.6	0.0	< 0.001
Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo early - (Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 late)	-28.1 ± 5.5	645.8	-5.1	0.0	< 0.001
Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo early - Pacman april_july_last_cum_wbo late	-24.1 ± 4.6	661.1	-5.3	0.0	< 0.001
Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo early - Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo late	-20.2 ± 4.6	661.1	-4.4	0.0	< 0.001
Pacman april_july_last_cum_wb50 early - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-36.1 ± 6.1	343.5	-5.9	0.0	< 0.001
Pacman april_july_last_cum_wb50 early - (Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 late)	-28.3 ± 6.1	343.5	-4.6	0.0	< 0.001
Pacman april_july_last_cum_wb50 early - Pacman april_july_last_cum_wbo late	-24.3 ± 4.9	623.2	-4.9	0.0	< 0.001
Pacman april_july_last_cum_wb50 early - Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo late	-20.4 ± 4.9	623.2	-4.1	0.0	0.003
Blanding_2024 april_july_last_cum_wb50 early - (Pacman april_july_last_cum_wb-50 late)	-33.2 ± 6.1	343.5	-5.4	0.0	< 0.001
Blanding_2024 april_july_last_cum_wb50 early - (Blanding_2024 april_july_last_cum_wb-50 late)	-25.4 ± 6.1	343.5	-4.1	0.0	0.002
Blanding_2024 april_july_last_cum_wb50 early - Pacman april_july_last_cum_wbo late	-21.4 ± 4.9	623.2	-4.3	0.0	0.001
Blanding_2024 april_july_last_cum_wb50 early - Blanding_2024 april_july_last_cum_wbo late	-17.5 ± 4.9	623.2	-3.5	0.0	0.022
(Pacman april_july_last_cum_wb-50 late) - Pacman april_july_last_cum_wbo late	11.8 ± 2.5	207.6	4.6	0.0	< 0.001
(Pacman april_july_last_cum_wb-50 late) - Pacman april_july_last_cum_wb50 late	23.6 ± 5.1	207.6	4.6	0.0	< 0.001
(Pacman april_july_last_cum_wb-50 late) - Blanding_2024 april_july_last_cum_wb50 late	23.6 ± 6.1	343.5	3.8	0.0	0.008
Pacman april_july_last_cum_wbo late - Pacman april_july_last_cum_wb50 late	11.8 ± 2.5	207.6	4.6	0.0	< 0.001

6.2.4 Sort:vandbalance:såtidspunkt

Der fandtes ingen overordnet signifikant trevejsvekselvirkning, men her kigger vi alligevel nærmere på sorterne Blanding_2024 og Pacman, som viser flere signifikante forskelle i udbytte mellem kombinationer af sorter, vandbalance og såtidspunkt (se Tabel 10). For både Pacman og Blanding_2024 ses markante forskelle mellem tidlig og sen såning ved forskellige vandbalance-niveauer. For eksempel er forskellen mellem tidlig og sen såning ved lav vandbalance (-50 mm) for Pacman -25.1 kg/ha (SE = 5.94, $p = 0.0016$) og for Blanding_2024 -30.7 kg/ha (SE = 5.94, $p < 0.001$). Tilsvarende ses mindre, men stadig signifikante forskelle ved høj vandbalance (50 mm).

7 Begrænsninger og forbehold

Det er vigtigt at bemærke, at interaktioner i emmeans-kontraster kan være komplekse og skal tolkes med forsigtighed.