



Klumprotsjuka i höstraps- utvärdering av resistent sorter i fältförsök OS7-25

*Clubroot in winter oilseed rape – evaluation of clubroot resistant varieties
in Swedish field trials OS7-25*

Patrik Persson

Examensarbete/Självständigt arbete • (15 hp)
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakultet/Institution – Skoglig mykologi och växtpatologi
Program/Utbildning – Agronom mark/växt
Utgivningsort Utgivningsår – Uppsala 2021



Klumprotsjuka i höstraps- utvärdering av resistenta sorter i fältförsök OS7-25

Patrik Persson

Handledare: Hanna Friberg – Skoglig mykologi och växtpatologi
Bitr. handledare: Ann-Charlotte Wallenhammar, SLU, växtproduktionsekologi
Examinator: Björn Andersson, SLU, Skoglig mykologi och växtpatologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronomprogrammet mark/växt
Kursansvarig inst.: Institutionen för vatten och miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2021

Nyckelord: *Plasmodiophora brassicae*, klumprotsjuka, höstraps, resistenta sorter, fältförsök

Sveriges lantbruksuniversitet

NJ Fakulteten

Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Plasmodiophora brassicae orsakar den allvarliga sjukdomen klumprotsjuka och kan angripa alla växter inom familjen Brassicaceae. *Plasmodiophora brassicae* är en jordburen patogen vilket gör den väldigt immobil. Den kan överleva i jorden i över 15 år och uppträder först fläckvis i fält och sprids sedan, till exempel vid jordbearbetning. Åtgärder för att minska spridningen är sanitära och någon kemisk bekämpning för att minska förekomsten i fält finns inte. Genom förädling av klumprotsresistenta rapssorter har lantbrukare fått en möjlighet att inte behöva avstå från odling av raps på fält med förekomst av *P. brassicae*.

Syftet med detta arbete var att genom statistisk analys utvärdera klumprotsresistenta höstrapssorter från fältförsök utförda av Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare (SFO), på fält med dokumenterad smitta som bestämts med DNA analys.

Resultaten från fröskörden visade att de resistenta sorterna gav signifikant högre skörd än de mottagliga på de försöksplatser med förekomst av *P. brassicae*. På de försöksplatser utan känd förekomst av *P. brassicae* hade de resistenta sorterna generellt sett lägre medelskörd än de mottagliga sorterna.

Försöksåret 2017/2018 visade att när vädret gynnar *P. brassicae* kan den orsaka angrepp på resistenta sorter upp till sjukdomsindex 30. En sort från Dekalb, Pliny, fick ett sjukdomsindex på 45 när den höga nederbörden gynnade *P. brassicae*. Dekalbs sort Platon fick under försöksåret 2019/2020 höga sjukdomsindex tillsammans med de mottagliga sorterna. Utöver Pliny och Platon, vars resistens får anses vara bruten på dessa platser, var sjukdomsindex för de andra resistenta sorterna inom skalan för vad som räknas som en klumprotsresistent sort. Resultaten visar att resistensen kan pressas under för patogenen gynnsamma förhållanden.

Klumprotsjuka, Höstraps, Resistenta sorter, Fältförsök, Plasmodiophora brassicae

Abstract

Plasmodiophora brassicae causes the serious disease clubroot and can infect all plants in the family Brassicaceae. *Plasmodiophora brassicae* is soil borne which makes it a very immobile pathogen. It can survive in the soil for over 15 years and first appears in patches in the field and then spreads with for example tillage. The measures to reduce the spread are sanitary and there is no chemical control to reduce the soil infestation in the field. By breeding club-root-resistant varieties, farmers have been given the opportunity of not having to give up growing oilseed rape in fields infested with *P. brassicae*.

The purpose of this thesis was to evaluate clubroot resistant winter oil seed rape varieties from field trials carried out by Swedish Seed and Oilseed Growers through statistical analyses, on fields with known occurrence of the pathogen.

The results from the harvest data showed that the yields from the resistant cultivars were significantly higher than the yields from the susceptible cultivars on trial sites with a known presence of *P. brassicae*. On trial sites without a known presence of *P. brassicae* resistant, cultivars generally produced a lower average yield than the susceptible cultivars.

The trial year 2017/2018 showed that under favourable weather conditions *P. brassicae* can cause disease on resistant varieties up to disease index 30. A variety from Dekalb called Pliny got a disease index of 45 under conditions with high rainfall favouring *P. brassicae*. During the trial year 2019/2020, Dekalb's variety Platon reached the same high disease indices as the susceptible varieties. Apart from Pliny and Platon, whose resistance has been broken at these sites, the disease levels in the other resistant varieties were within the range of what is regarded as a clubroot resistant variety. The results show that the resistance is challenged under disease conducive environmental conditions.

Clubroot, Plasmodiophora brassicae, clubroot resistant varieties, winter oilseed rape, field trial

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	9
Figurförteckning.....	10
Förkortningar	14
1. Inledning.....	15
1.1. Syfte.....	17
2. Material och metoder	18
2.1. Fältförsök – upplägg och design	18
2.2. Provtagning och gradering av rötter	20
2.3. Statistisk analys.....	20
2.4. Förutsättningar 2018	20
2.5. Förutsättningar 2019	21
2.6. Förutsättningar 2020	21
3. Resultat.....	25
3.1. 2018.....	25
3.1.1. Bollerup.....	25
3.1.2. Simrishamn	28
3.1.3. Vellinge	31
3.2. 2019.....	33
3.2.1. Bollerup.....	33
3.2.2. Simrishamn	35
3.2.3. Marieholm	37
3.3. 2020.....	39
3.3.1. Bollerup.....	39
3.3.2. Simrishamn	42
3.3.3. Kalmar.....	45
3.3.4. Marieholm	47
4. Diskussion.....	49
4.1. Resistens	49

4.2.	Skörd på platser med <i>P. brassicae</i>	51
4.3.	Skörd på platser utan <i>P. brassicae</i>	52
4.4.	Gemensamma sorter	53
4.5.	Fortsatta studier	54
4.6.	Slutsats	54
Referenser	56
Tack	58

Tabellförteckning

Tabell 1. Sorter testade 2018 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlare. Sortblandning (Sverige) bestod 2018 av: Exstorm, Avatar, Explicit och Dariot.....	19
Tabell 2. Sorter testade 2019 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlarna. Sortblandning (Sverige) bestod 2019 av: Harnas, Avatar, Explicit och Mercedes	19
Tabell 3. Sorter testade år 2020 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlare. Sortblandning (Sverige) bestod år 2020 av Harnas H, Avatar H, Explicit N (DMH 14) och Mercedes H.....	19
Tabell 4. Sammanställning av genkopior per gram jord, pH och nederbörd för alla försöksplatser och år. *NA=Ingen data tillgänglig.....	22
Tabell 5. Medelfröskörd i kg/ha från de gemensamma sorterna och försöksplatserna.	53
Tabell 6. Medelsjukdomsindex från de gemensamma sorterna och försöksplatserna	53

Figurförteckning

- Figur 1. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2017 till vänster och våren 2018 till höger.23
- Figur 2. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2018 till vänster och våren 2019 till höger.23
- Figur 3. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2019 till vänster och våren 2020 till höger.24
- Figur 4. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för nio försöksled och fyra upprepningar i försöket på Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.25
- Figur 5. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).26
- Figur 6. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA P-värde i försöket Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).26
- Figur 7. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket på Bollerup 2018. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$ 27
- Figur 8. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för nio försöksled och fyra upprepningar i försöket på Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna. Data för Mentor saknas i block 1.28
- Figur 9. Fröskörd för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och

	maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	29
Figur 10.	Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	29
Figur 11.	Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket i Simrishamn 2018. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$	30
Figur 12.	Fröskörd, sort för sort från de fyra blocken i försöket i Vellinge 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.	31
Figur 13.	Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket i Vellinge 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.	32
Figur 14.	Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Bollerup 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna. Data för Sortblandning och Croquet saknas i det första blocket.	33
Figur 15.	Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	34
Figur 16.	Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Simrishamn 2019. Data för Mentor och Platinium saknas i det fjärde blocket. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.	35
Figur 17.	Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	36

Figur 18. Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Marieholm 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.	37
Figur 19. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Marieholm 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	38
Figur 20. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket på Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.	39
Figur 21. Fröskörd(kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	40
Figur 22. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	40
Figur 23. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket Bollerup 2020. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $Y=Rx+m$	41
Figur 24. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket i Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.	42
Figur 25. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).	43
Figur 26. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna	

Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).....	43
Figur 27. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket Simrishamn 2020. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$	44
Figur 28. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket i Kalmar 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.	45
Figur 29. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Kalmar 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.	46
Figur 30. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Kalmar 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.	46
Figur 31. Fröskörd sort för sort, block för block i försöket i Marieholm 2020. Led 1 och Led 10 är mottagliga sorter.....	47
Figur 32. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Marieholm 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).....	48

Förkortningar

SFO Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare

1. Inledning

Odling av oljeväxter i släktet *Brassica* har fördubblats i Sverige sedan år 2000 - från 48160 ha till 105571 ha, där 99646 ha utgjordes av höstraps år 2019 (*Medelareal raps, rybs och lin, SFO* u.å.). Höstraps är en lönsam gröda att odla samt är en bra avbrottsgröda i spannmåldominerande växtföljder. Detta gör den attraktiv att odla mer av och oftare. En allvarlig skördenedsättande sjukdom är klumprotsjuka orsakad av *Plasmodiophora brassicae* som tillhör riket Chromista och fylum Cercozoa. Vilsporer av *P. brassicae* kan överleva i marken i över 15 år (Wallenhammar 1996).

Livscykeln hos *P. brassicae* består av två delar, det primära och det sekundära stadiet. I det primära stadiet infekteras rothåren efter att rotexudat från värdväxten stimulerat vilsporen att gro till en primär zoospor. I de infekterade rothåren utvecklas ett plasmodium. Efter att cellkärnan från zoosporen har delats ett antal gånger delas plasmodiet upp i segment som kallas zoosporangier. Dessa bryts sedan ner och frigör de sekundära zoosporerna i markvätskan. De sekundära zoosporerna förflyttar sig till pålrotens epidermis och tränger in till rotens cortex. Där bildas ett nytt plasmodium och efter ytterligare celldelning där några smälter ihop till zygoter, bryts rötterna ner och släpper ut nya vilosporer (Wallenhammar 1997). *Plasmodiophora brassicae* stimulerar en okontrollerad celldelning från växten genom att producera växthormonerna auxin och cytokinin eller genom att hindra växten från att bryta ned dem i roten (Diederichsen et al. 2014). På detta sätt bildas de karaktäristiska svulsterna. *Plasmodiophora brassicae* är en jordburen patogen och därmed väldigt immobil. Patogenen uppträder fläckvis i fält de första åren och sprids därefter i fältet till exempel genom jordbearbetning.

Plasmodiophora brassicae kan spridas mellan fält med jord på maskiner och redskap. I Alberta i Kanada upptäcktes år 2003 tolv fält med klumprotsjuka (Strelkov & Hwang 2014). År 2014 hade antalet ökat till 1868 fält över centrala Alberta där den yttre kanten av patogenens utbredningsområde flyttat sig med 20 km per år (Gossen et al. 2015).

Lantbrukare i Sverige har länge känt till klumprotsjuka. Rovor och kålrötter som också tillhör *Brassica* släktet har en lång historia som kulturväxt i Norden och eftersom de odlas för rotens skull upptäcktes om grödan hade klumprotsjuka vid skörden. Under 1920 talet ansågs klumprotsjuka vara den vanligaste sjukdomen på *Brassica* grödor, så när raps och rybs introducerades hade *P. brassicae* redan en vid

spridning (Wallenhammar et al. 2014). Under åren 1986 och 1987 testades jordprover från 190 fält från 18 gårdar i Örebro län där kraftiga angrepp av klumprotsjuka påträffats under 1984. Genom biotester hittades *P. brassicae* i 148 av 190 fält (Wallenhammar 1996). Mellan åren 1987 och 1993 testades 380 jordprover och i 57% av dessa hittades *P. brassicae*. Denna studie visade också att *P. brassicae* fanns i 17 av 20 län i Sverige (Engqvist 1994).

Åtgärderna för att minska spridningen är sanitära och någon kemisk bekämpning för att minska förekomsten i fält finns inte. Däremot finns försök som visar att bor (Deora et al. 2011), ökat pH och kalcium i jorden har en hämmande effekt på klumprotsjuka (McGrann et al. 2016). En indirekt metod mot *P. brassicae* är att hålla jorden väldränerad, eftersom *P. brassicae* trivs i varm och fuktig jord och zoosporerna förflyttar sig i markvätskan.

Genom förädling av klumprotsresistenta rapssorter har lantbrukare fått en möjlighet att inte behöva avstå från odling av raps på fält med *P. brassicae*, där klumprotsjuka skulle göra det omöjligt att odla en mottaglig rapssort och därmed förlora en stor inkomst jämfört med spannmål. Det är dock inte så enkelt att det bara finns en patotyp av *P. brassicae*. Genom selektion från miljö och olika värdväxter har flera patotyper utvecklats. Dessa kan karakteriseras med hjälp av olika differential-set som består av klumprotsresistenta och mottagliga sorter av raps, rybs och kål. Olika patotyper klassificeras beroende på hur dessa sorter reagerar när de inokuleras med *P. brassicae*-isolat (Diederichsen et al. 2009); (Strelkov et al. 2018). Det första differential setet och systemet för att karakterisera patotyper skapades 1966 (Williams 1966). Williams differential-set består av fyra sorter: två sorters kålrötter och två sorters kål och kunde därmed användas för att i teorin identifiera 16 olika patotyper som namnges med en siffra. I praktiken identifierades 8 patotyper. År 1975 utvecklades ett europeiskt differential-set bestående av fem sorter av *Brassica rapa*, fem av *B. napus* och fem *B. oleracea* (Buczacki et al. 1975).

Genom att identifiera och namnge de olika patotyperna kan förädlarna redovisa vilka patotyper deras rapssorter är resistenta mot. Den klumprotresistenta sorten Mendel är en hybrid sort med heterozygot resistens med totalt tre gener för resistens, en dominant och två recessiva där man antar att de två recessiva inte bidrar signifikant till resistensen (Diederichsen et al. 2006). Mendel är förädlad av NPZ Lembke i Tyskland och blev tillgänglig för odlare hösten 2001. Mendel behöll sin plats på marknaden i över 10 år men på grund av lägre avkastning jämfört med moderna sorter har förädlare tagit fram nya sorter med resistens baserad på den dominanta resistens genen från Mendel (Diederichsen et al. 2014).

Förädlingsföretagen är många och de klumprotsresistenta rapssorterna ännu fler och en sammanhängande rapport som sammanställer och utvärderar sorter från svenska fältförsök finns inte.

1.1. Syfte

Syftet med det här arbetet är att genom statistisk analys av fältförsöksresultat utförda i regi av Sveriges Frö- och oljeväxtodlare (SFO) utvärdera olika klumprotsresistenta rapssorter med avseende på fröskörd och symtomutveckling.

De frågeställningar som behandlas är:

- Hur utvecklas klumprotsjuka hos de olika sorterna.
- Hur varierar sjukdomsindex mellan försöksplatser med olika nivåer av *P. brassicae* DNA i jorden?
- Hur fungerar de olika sorterna i fält med hög och låg förekomst av *P. brassicae* med avseende på fröskörd?
- Hur förhåller sig avkastningen hos resistenta sorter jämfört med den hos mottagliga sorter i jord utan *P. brassicae*?

2. Material och metoder

2.1. Fältförsök – upplägg och design

Fältförsöksresultaten som analyseras i rapporten är utförda av SFO. Försöken genomfördes skördeåren 2018, 2019 och 2020 på fyra fält i Sydsverige. Höstrapsen såddes från mitten till slutet av augusti och skördades från slutet av juli till mitten av augusti följande år. Bollerup och Simrishamn i sydöstra Skåne var gemensamma försöksplatser för alla år. Under 2018 låg försök även i Vellinge i sydvästra Skåne och Eldsberga i södra Halland. År 2019 låg försök i Marieholm och Lidköping och 2020 låg försök i Kalmar i Småland och Marieholm i nordvästra Skåne. Ett av försöken genomfördes årligen på fält utan eller med mycket låg förekomst av *P. brassicae*. 2018 var det i Vellinge. År 2019 och 2020 i Marieholm. SFO väljer vilka platser försöken ska ligga på genom att utlysa en tävling. Försöksutförare skickar in jordprov som analyseras för förekomst av *P. brassicae* och de fält som har högst smitta väljs som försöksplatser.

År 2019 blev det inga angrepp på någon försöksplats på grund av torkan 2018. Därför finns endast skördedata redovisade för 2019. För försöket i Eldsberga 2018 saknas data för angrepp av klumprotsjuka och därför uteslöts försöket ur analyserna.

Fältförsöken var randomiserade med fyra upprepningar och omfattade 7 resistent sorter 2018, 8 resistent sorter 2019 och 9 resistent sorter 2020.

Som jämförelse odlades i samtliga försök en sortblandning av fyra mottagliga sorter. Detta för att det är en gemensam mätare som binder ihop andra fältförsök som SFO utför. En sort i sortblandningen byts ut varje år för att hålla uppsättningen av sorter uppdaterad allteftersom nya sorter tillkommer och gamla sorter fasas ut ur kommersiell odling. En mottaglig sort odlades även i renbestånd. År 2018 och 2019 var det sorten Explicit och år 2020 byttes den ut mot Akilah.

Tabell 1. Sorter testade 2018 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlare. Sortblandning (Sverige) bestod 2018 av: Exstorm, Avatar, Explicit och Dariot.

Led	Sort	Resistens
1	Sortblandning (Sverige)	Mottagliga
2	Explicit H Mon (DMH 14)	Mottaglig
3	Mentor H	Resistent
4	Archimedes H	Resistent
5	Alibaba H (RNX3421)	Resistent
6	Alix H (RNX3521)	Resistent
7	Alasco H	Resistent
8	Platinum H	Resistent
9	Pliny	Resistent

Tabell 2. Sorter testade 2019 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlarna. Sortblandning (Sverige) bestod 2019 av: Harnas, Avatar, Explicit och Mercedes

Led	Sort	Resistens
1	Sortblandning (Sverige)	Mottagliga
2	Explicit H Mon (DMH 14)	Mottaglig
3	Mentor H	Resistent
4	Alibaba H (RNX3421)	Resistent
5	Alix H (RNX3521)	Resistent
6	Croquet H	Resistent
7	Crome H	Resistent
8	Alasco H	Resistent
9	Platinum H	Resistent
10	Pliny	Resistent

Tabell 3. Sorter testade år 2020 och deras mottaglighet för klumprotsjuka enligt uppgifter från förädlare. Sortblandning (Sverige) bestod år 2020 av Harnas H, Avatar H, Explicit N (DMH 14) och Mercedes H.

Led	Sort	Resistens
1	Sortblandning (Sverige)	Mottagliga
2	Mentor H NPZ	Resistent
3	Alibaba H (RNX3421)	Resistent
4	Croquet H	Resistent
5	Crome H	Resistent
6	Alasco H	Resistent
7	Crotora	Resistent
8	Crocodile	Resistent
9	Alledor (LE17/337)	Resistent
10	Akilah	Mottaglig
11	Platon	Resistent

2.2. Provtagning och gradering av rötter

I försöken 2018 och 2019 grävdes 10 plantor per ruta slumpmässigt upp i december, och 2020 gjordes provtagningen i april. Plantorna skickades till Ann-Charlotte Wallenhammar, Hushållningssällskapet HS Konsult AB för gradering som utfördes inom ramen för projektet ”Integrerad bekämpning av klumprotsjuka” finansierat av Stiftelsen Lantbruksforskning, Stiftelsen Svensk Oljeväxtforskning och CR Prytz Donationsfond.

Rötterna tvättades i rinnande vatten och graderades enligt: 0=Frisk, 1=små svulster; 2=medelstora svulster på huvudroten (mindre än 50% av rotsystemet infekterat); 3=kraftiga svulster på huvudroten (mer än 50% av rotsystemet infekterat); 4=huvudroten nedbruten. (Wallenhammar et al. 2000).

Sjukdomsindex beräknades genom att angreppet på roten kategoriserades i klasser enligt ovan.

$$Sjukdomsindex = \frac{\sum_{Klass\ nr}(klass\ nr) * (antal\ rötter\ i\ varje\ klass))}{((total\ antal\ plantor) * (antal\ klasser - 1))}.$$

2.3. Statistisk analys

För att ta reda på om det fanns en signifikant skillnad ($P < 0,05$) mellan sorternas medelvärde med avseende på fröskörd (kg/ha) och sjukdomsindex användes envägs varians-analys (ANOVA) och Tukeys test (Tukey’s honest significant difference) som jämför data led för led med ett konfidens intervall på 0.95.

Relationen mellan fröskörd och sjukdomsindex antogs vara linjär och bestämdes med Pearsons korrelations-test.

Samtliga analyser gjordes i R (R core team 2021).

2.4. Förutsättningar 2018

År 2018 låg försöken i Bollerup, Simrishamn och Vellinge. Försöksplatserna i Bollerup och Simrishamn hade hög förekomst av *P. brassicae* (Tabell 4) medan försöket i Vellinge låg på ett fält utan känd förekomst av patogenen.

Under hösten fick sydöstra Skåne en nederbörd på 386 mm från 1 augusti till 31 december och 217 mm från 1 januari till 31 augusti. Sydvästra Skåne fick en nederbörd på 274 mm från 1 augusti till 31 december och 344 mm från 1 januari till 31 augusti. Under hösten 2017 fick Skåne en nederbörd som var mellan 50% och 100% större än ett normalår (figur 1).

Fältet i Bollerup hade ett pH-värde på 6,6 och i Simrishamn hade fältet ett pH-värde på 6,8. Fältet i Vellinge hade ett pH-värde på 8,3 och jorden bestod av 53% sand + grovmo med 16% ler.

PCR analys av jordprov från försöksfälten i Bollerup och Simrishamn visade att de innehöll 2 300 000 genkopior per gram jord av *P. brassicae* DNA respektive 1 100 000 genkopior per gram jord av *P. brassicae* DNA. Som referens kan nämnas att odling med mottaglig sort avrådes vid värden över 50 000 genkopior per gram (Wallenhammar et al. 2012) jord. År 2018 hade försöken 9 led (tabell 1).

2.5. Förutsättningar 2019

På grund av den extrema torkan 2018 var jordprofilen tömd på fukt och den första nederbörden kom i sydöstra Skåne först i oktober. Eftersom *P. brassicae* behöver fukt för att kunna infektera kunde patogenen inte infektera plantorna innan det blev för kallt. Klumprotsjuka utvecklas inte under en medel temperatur på 14 °C (Gossen et al. 2017) och fälten hade därför få angripna plantor.

Under hösten fick sydöstra Skåne en nederbörd på 260 mm från 1 augusti till 31 december och 359 mm från 1 januari till 31 augusti. Nord-västra Skåne fick en nederbörd på 217 mm från 1 augusti till 31 december och 325 mm från 1 januari till 31 augusti. Skåne fick en nederbörd motsvarande 50% till 75% av normal nederbörd under hösten 2018 (figur 2).

Fältet i Bollerup hade ett pH-värde på 6,2 och i Simrishamn hade fältet ett pH-värde på 6,8. Fältet i Marieholm hade ett pH-värde på 6,5. År 2019 hade försöken 10 led (tabell 2).

2.6. Förutsättningar 2020

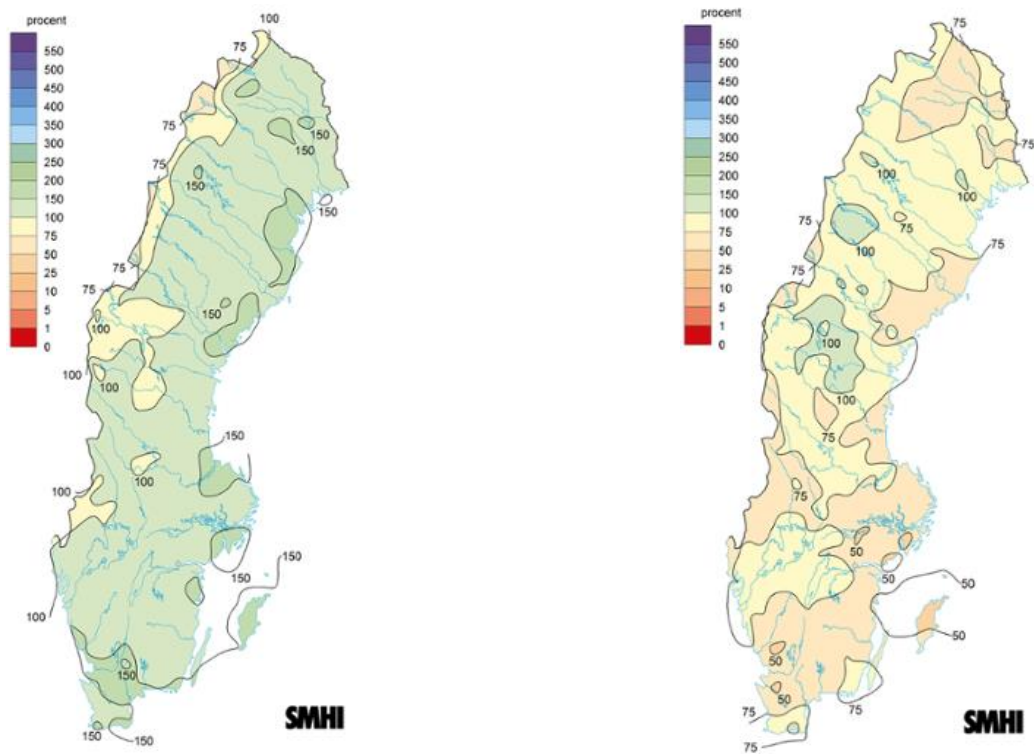
År 2020 genomfördes försök på fyra platser i Sverige: Bollerup, Simrishamn, Kalmar och Marieholm. Försöksplatserna i Bollerup och Simrishamn hade hög förekomst av *P. brassicae* medan platsen i Kalmar hade låg förekomst och försöket i Marieholm låg på ett fält utan känd förekomst av *P. brassicae*.

Under hösten fick sydöstra Skåne en nederbörd på 258 mm från 1 augusti till 31 december och 293 mm från 1 januari till 31 augusti. Nordvästra Skåne fick en nederbörd på 323 mm från 1 augusti till 31 december och 490 mm från 1 januari till 31 augusti. Skåne fick en normal nederbörd under hösten 2019 (figur 3). I området runt Kalmar fanns ingen nederbördsdata registrerad från klimatstationen.

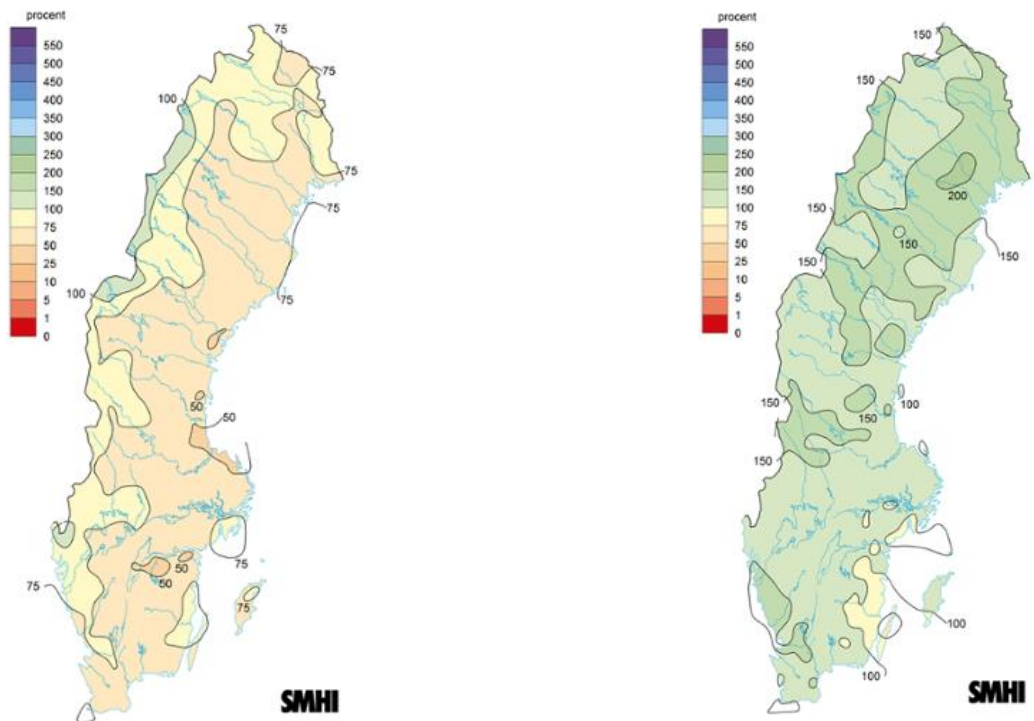
Fältet i Bollerup hade ett pH-värde på 6,1 och i Simrishamn hade fältet ett pH-värde på 6,9. PCR analys av jordprov från försöksfälten i Bollerup och Simrishamn visade att de innehöll 46 000 genkopior respektive 110 000 genkopior per gram jord. För försöksfältet i Kalmar finns ingen data om antalet genkopior tillgänglig. År 2020 hade försöken 11 led (tabell 3).

Tabell 4. Sammanställning av genkopior per gram jord, pH och nederbörd för alla försöksplatser och år. *NA=Ingen data tillgänglig.

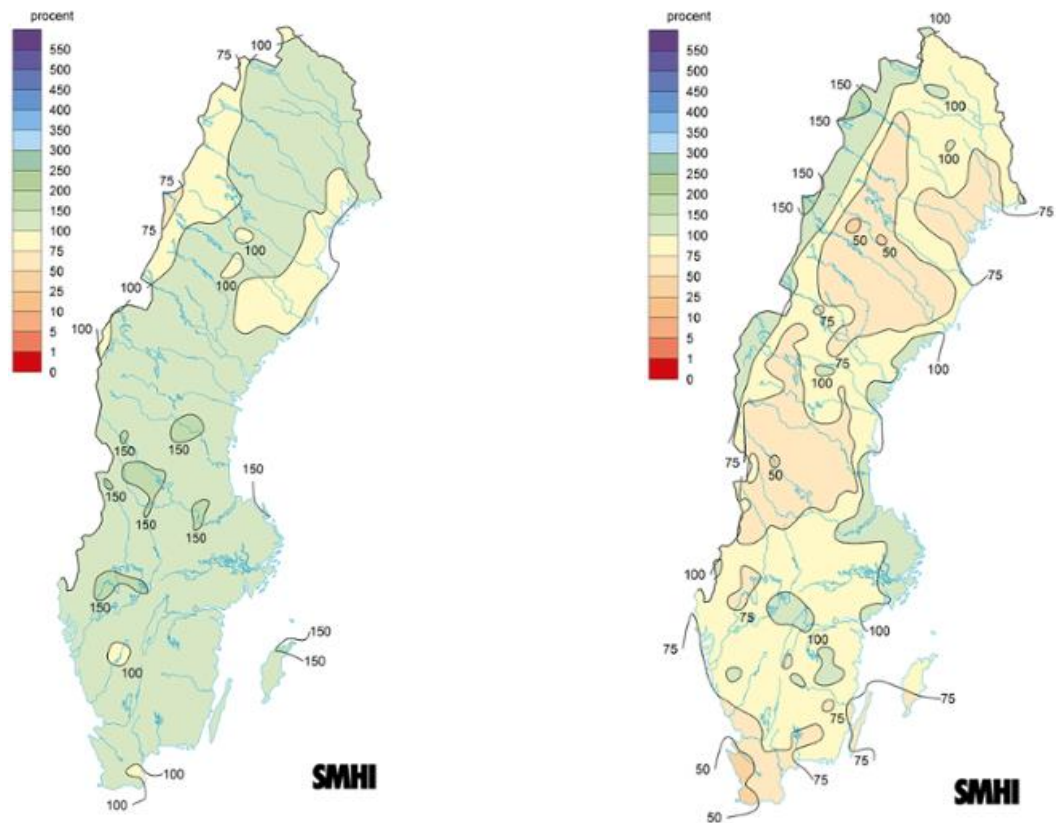
	Genkopior (per gram jord)	pH	Nederbörd (mm) 1/8 - 31/12	Nederbörd (mm) 1/1 - 31/8
2018				
Bollerup	2 300 000	6,6	386	217
Simrishamn	1 100 000	6,8	466	243
Vellinge	0	8,3	274	344
2019				
Bollerup	NA*	6,2	260	359
Simrishamn	NA*	6,8	202	329
Marieholm	0	6,5	218	325
2020				
Bollerup	46 000	6,1	258	293
Simrishamn	110 000	6,9	317	301
Kalmar	NA*	NA*	NA*	398
Marieholm	0	NA*	323	490



Figur 1. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2017 till vänster och våren 2018 till höger.



Figur 2. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2018 till vänster och våren 2019 till höger.

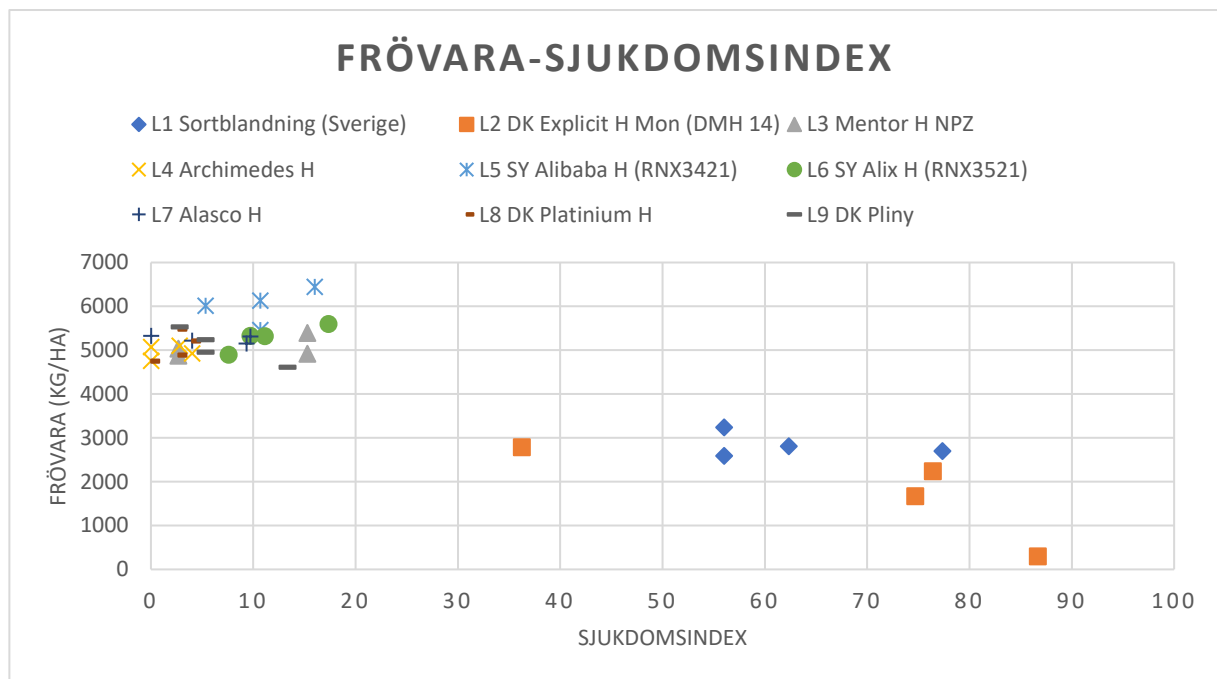


Figur 3. Nederbördsavvikelse i procent av det normala (Klimatdata - kartor | SMHI u.å.). Hösten 2019 till vänster och våren 2020 till höger.

3. Resultat

3.1. 2018

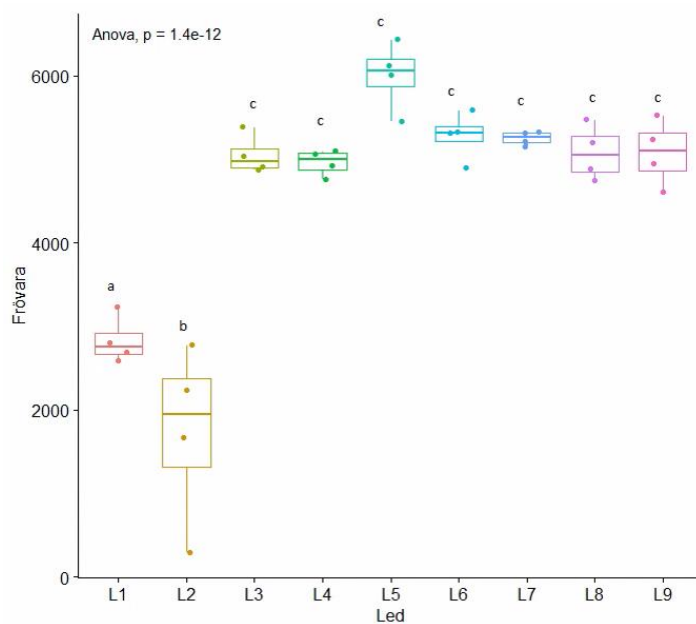
3.1.1. Bollerup



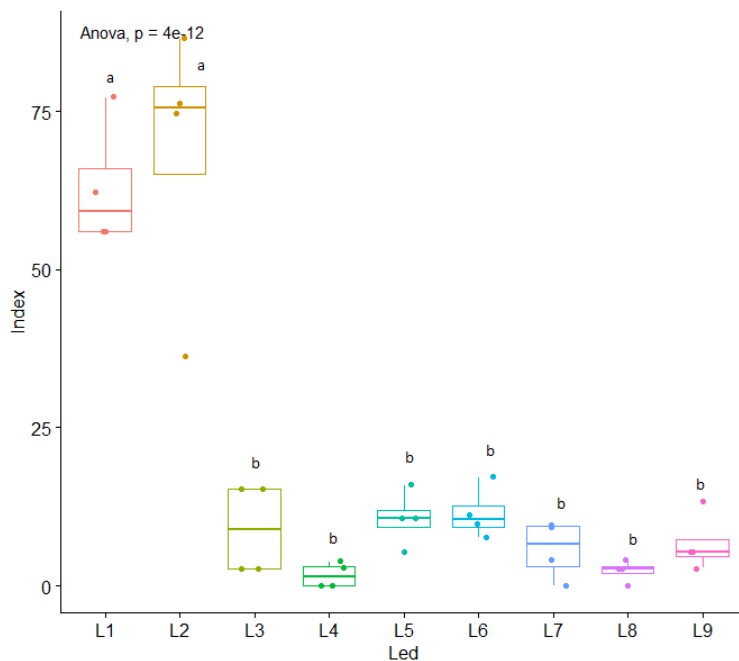
Figur 4. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för nio försöksled och fyra upprepningar i försöket på Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.

I försöket på Bollerup 2018 hade de mottagliga sorterna (sortblandningen och Explicit) sjukdomsindex mellan 35 och 86. Explicit (L2) med ett sjukdomsindex på 86 gav 294 kg/ha i skörd i en ruta (figur 4). Variansanalys visade att skillnaden i fröskörd och sjukdomsindex mellan sorterna var statistiskt säker ($P < 0,05$) (figur 5 och 6). Mellan de resistenta sorterna (L3-L9) fanns inga skillnader i fröskörd eller sjukdomsindex (figur 2 och 3). Mellan sortblandningen (L1) och den renodlade mottagliga sorten Explicit (L2) fanns en statistiskt säker skillnad i fröskörd (figur 5). De mottagliga sorterna hade högre sjukdomsindex än de resistenta sorterna

(figur 6). Pearson's metod visar att det finns en negativ korrelation ($R = -0,9$) mellan fröskörd och sjukdomsindex för de mottagliga sorterna (figur 7).

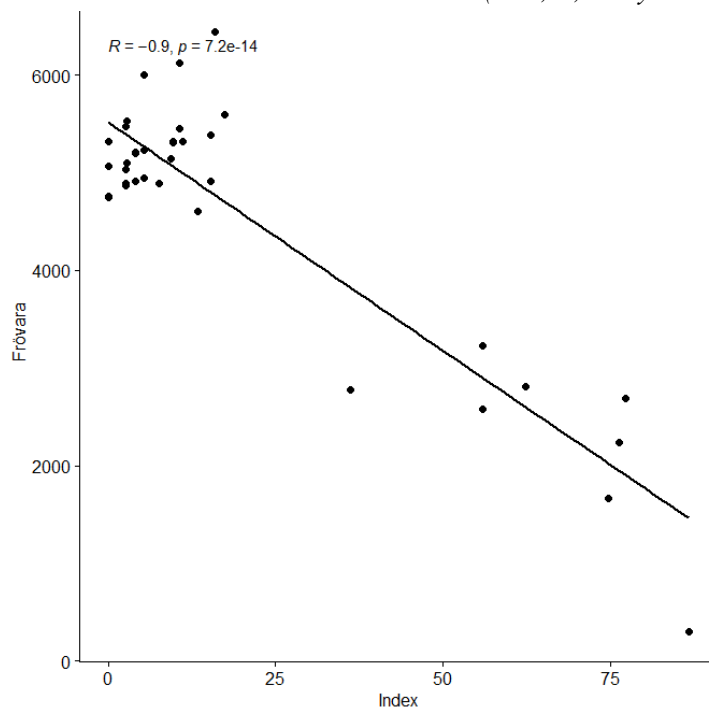


Figur 5. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n = 4$).



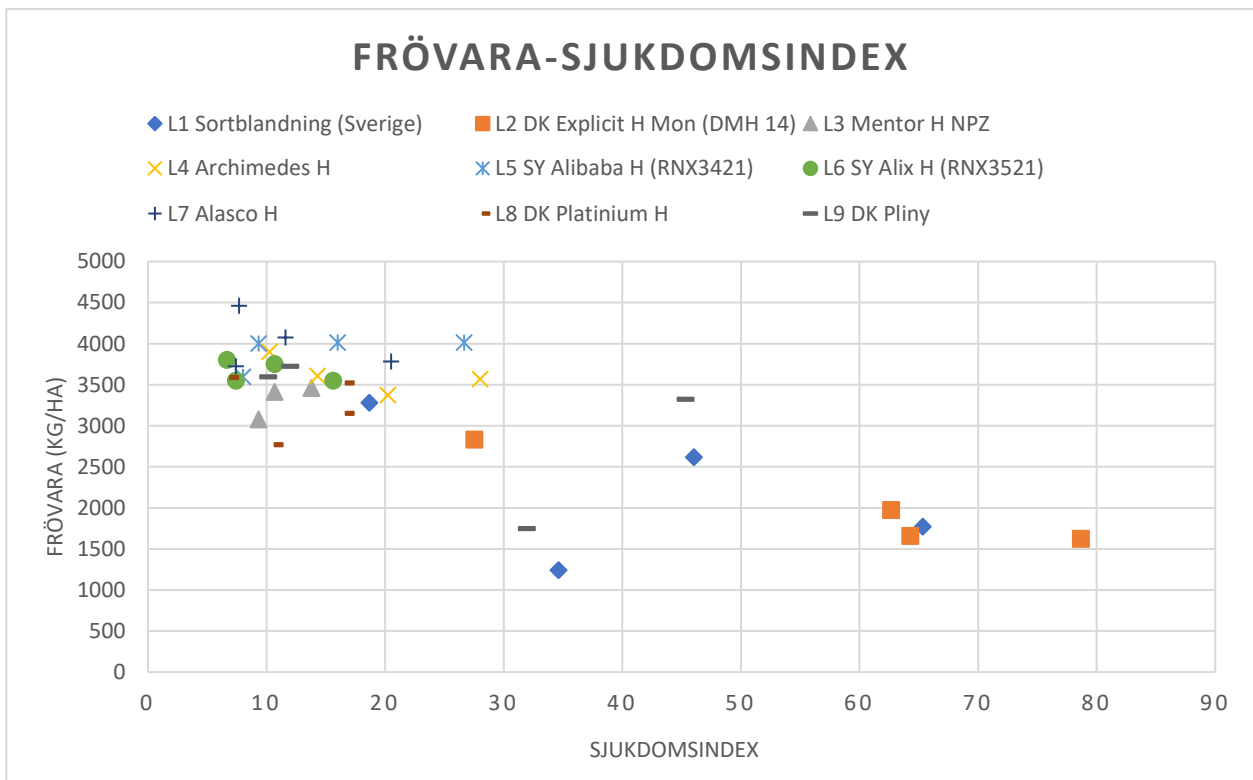
Figur 6. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA P-värde i försöket Bollerup 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket

minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).



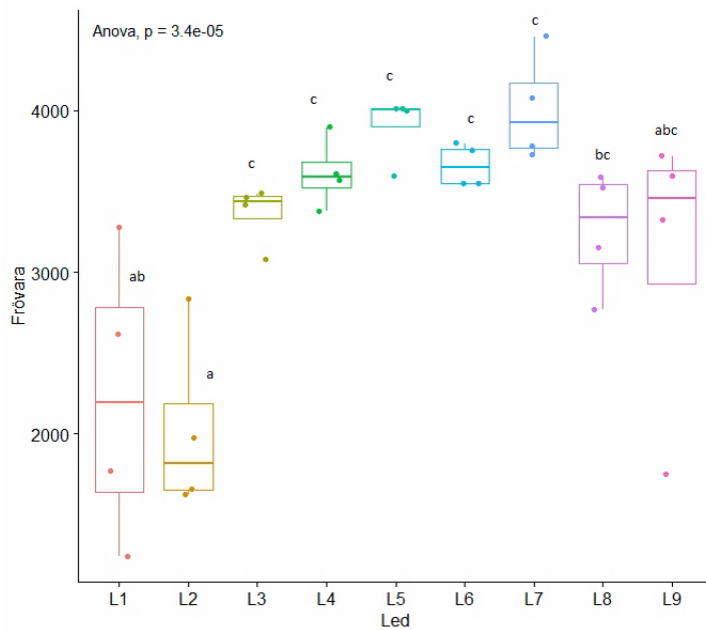
Figur 7. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket på Bollerup 2018. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$

3.1.2. Simrishamn

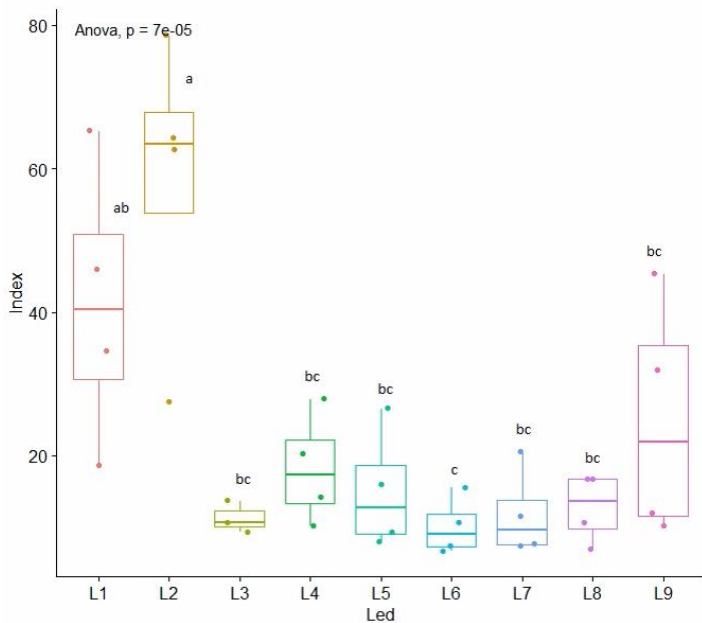


Figur 8. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för nio försöksled och fyra upprepningar i försöket på Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna. Data för Mentor saknas i block 1.

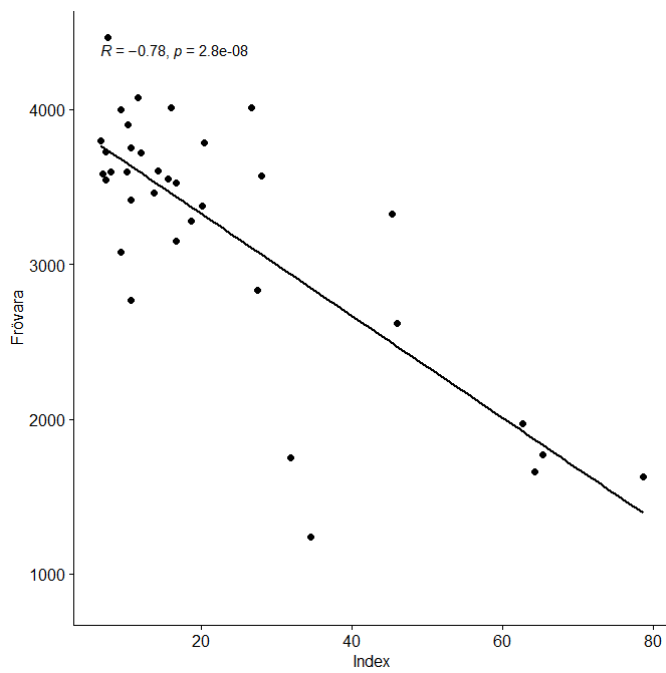
I försöket i Simrishamn 2018 hade de mottagliga sorterna (Sortblandningen och Explicit) tillsammans med två rutor med den resistenta Pliny (L9) ett sjukdomsindex mellan 18 och 80 (figur 8). Variansanalys visade att skillnaden i fröskörd och sjukdomsindex mellan sorterna var statistiskt säker ($P < 0,05$) (figur 9 och 10). Mellan de resistenta sorterna (L3-L9) fanns inga skillnader i fröskörd eller sjukdomsindex (figur 9 och 10). Sortblandningen (L1) hade signifikant lägre fröskörd än de resistenta sorterna förutom Platinium (L8) och Pliny (L9) (figur 9). Den renodlade mottagliga sorten Explicit (L2) hade signifikant lägre fröskörd än de resistenta sorterna förutom Pliny (L9). Beträffande sjukdomsindex var sortblandningen (L1) var inte signifikant skild från de resistenta sorterna (figur 10). Den renodlade mottagliga sorten Explicit (L2) hade signifikant högre sjukdomsindex än de resistenta men var inte skild från sortblandningen (figur 10). Pearson's metod visar en negativ korrelation ($R = -0,78$) mellan fröskörd och sjukdomsindex (figur 11).



Figur 9. Fröskörd för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

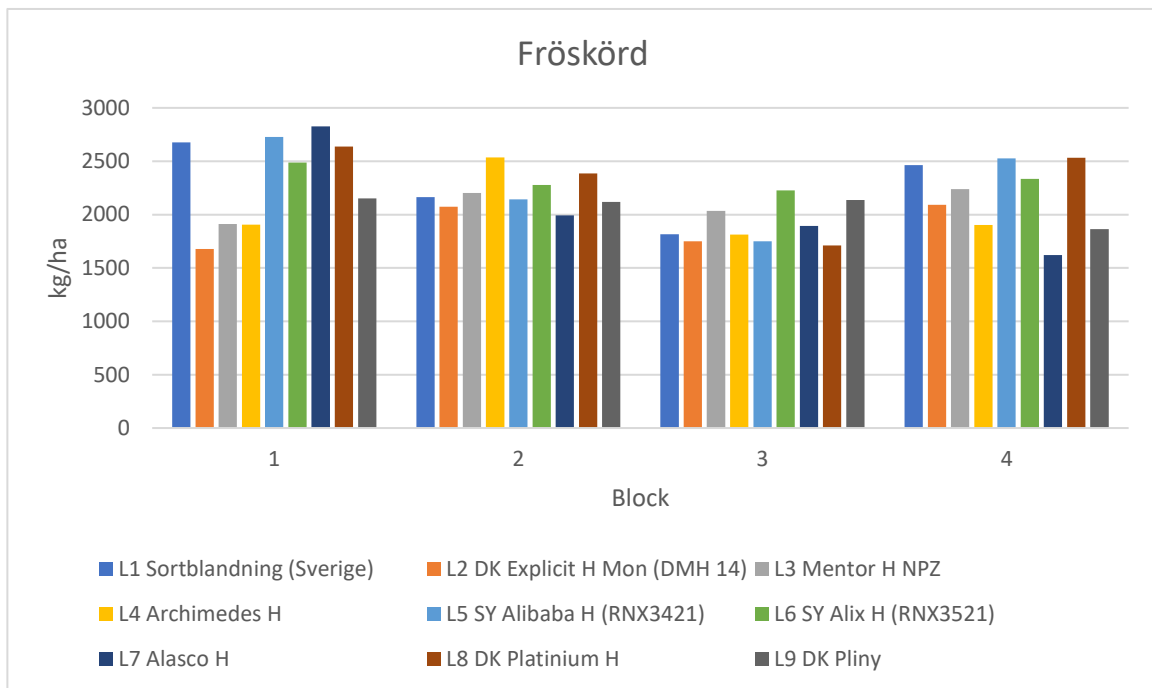


Figur 10. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).



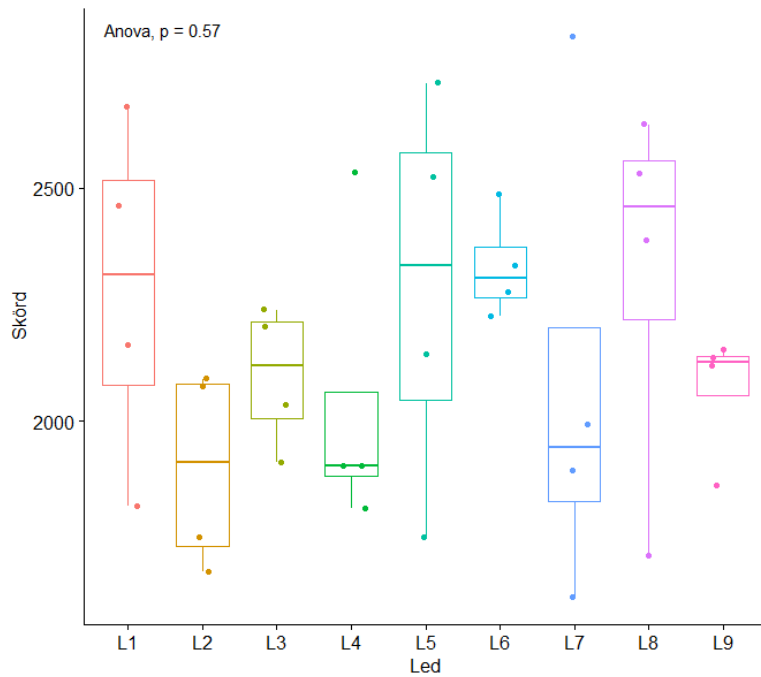
Figur 11. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket i Simrishamn 2018. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$

3.1.3. Vellinge



Figur 12. Fröskörd, sort för sort från de fyra blocken i försöket i Vellinge 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.

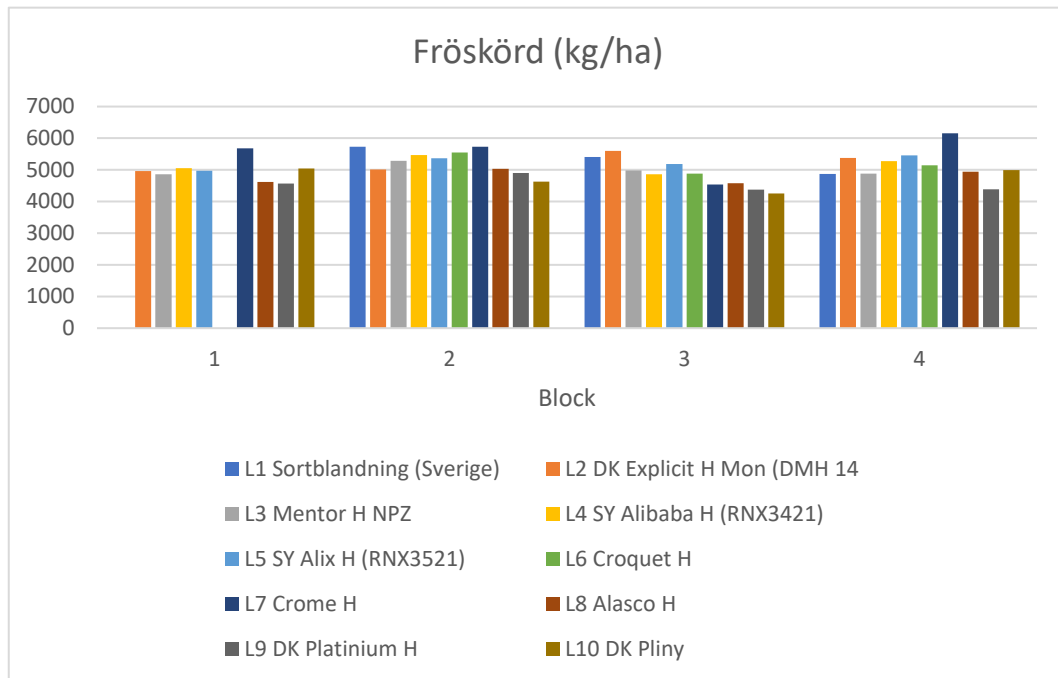
I försöket i Vellinge 2018, utan känd förekomst av *P. brassicae*, var inga skillnader i fröskörd statistiskt säkerställda ($P=0,57$) (figur 12, figur 13).



Figur 13. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket i Vellinge 2018. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.

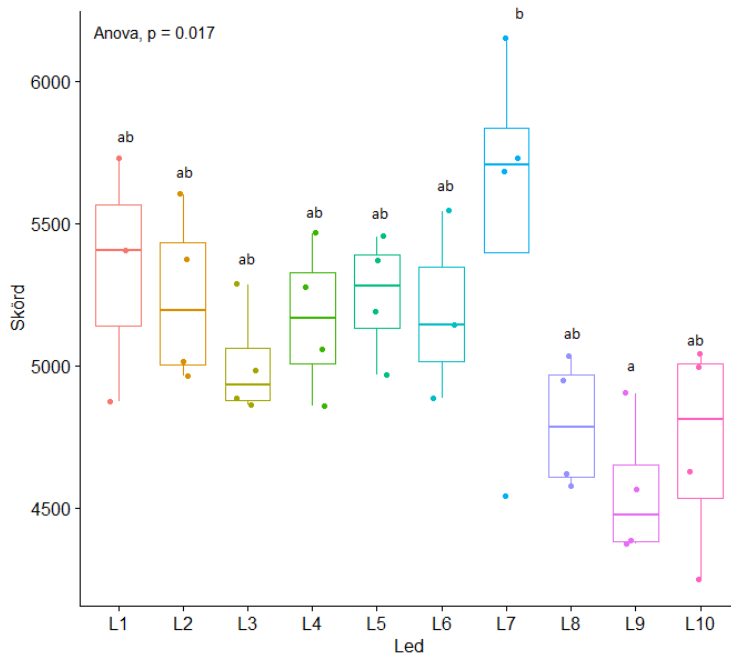
3.2. 2019

3.2.1. Bollerup



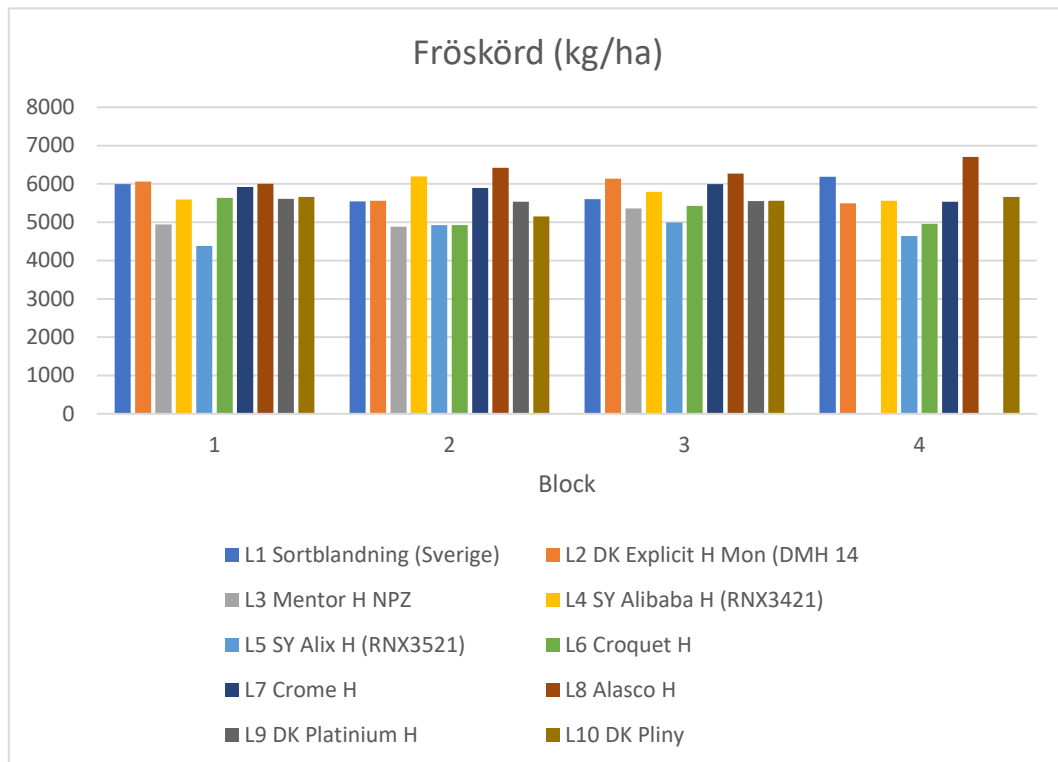
Figur 14. Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Bollerup 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna. Data för Sortblandning och Croquet saknas i det första blocket.

I försöket i Bollerup 2019 hade den resistenta sorten Crome (L7) rutor med de högsta skördarna och högst medelskörd men även rutan med en av de lägsta (figur 14 och 15). Variansanalys visade en signifikant skillnad ($P < 0,05$) i skörd men det är inte på grund av klumprotssjuka. Den resistenta sorten Crome (L7) hade signifikant högre fröskörd än Platinum (L9) (figur 15).



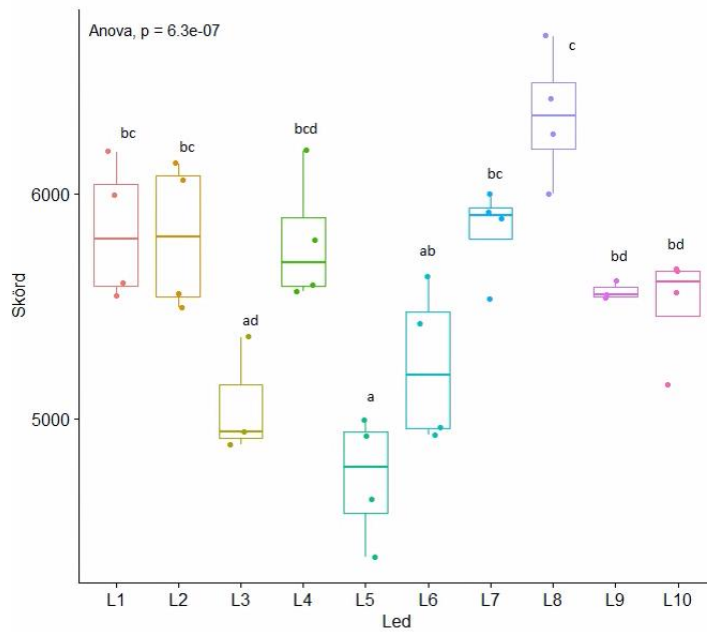
Figur 15. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

3.2.2. Simrishamn



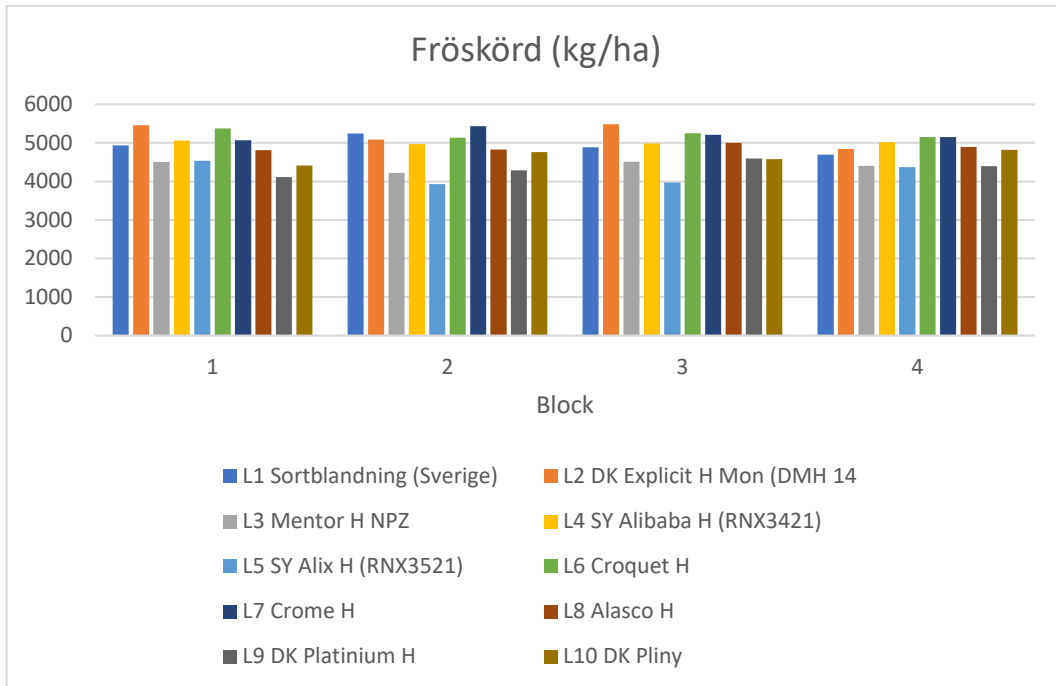
Figur 16. Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Simrishamn 2019. Data för Mentor och Platinum saknas i det fjärde blocket. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.

För försöket i Simrishamn 2019 (figur 16, figur 17) visade variansanalysen en signifikant skillnad i skörd ($P < 0,05$) men det är inte på grund av klumprotssjuka. Den resistenta sorten Alix (L5) hade signifikant lägre fröskörd än de resistenta sorterna Crome (L7), Alasco (L8), Platinum (L9) och Pliny (L10). Den resistenta sorten Mentor hade signifikant lägre fröskörd än de mottagliga sorterna (sortblandningen och Explicit) samt Crome (L7) och Alasco (L8). Den resistenta sorten Croquet (L6) hade signifikant lägre fröskörd än Alasco (L8) (figur 17).



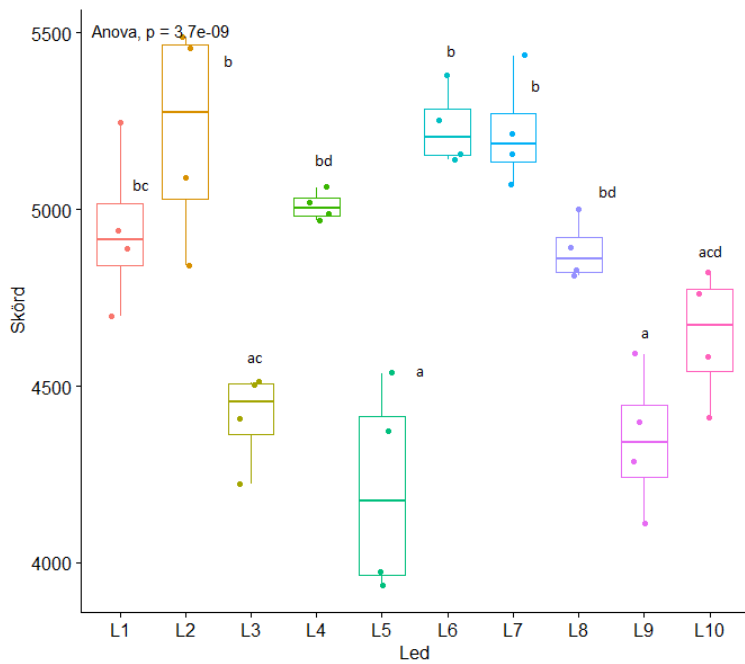
Figur 17. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p -värde i försöket Simrishamn 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

3.2.3. Marieholm



Figur 18. Fröskörd sort för sort från de fyra blocken i försöket i Marieholm 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna.

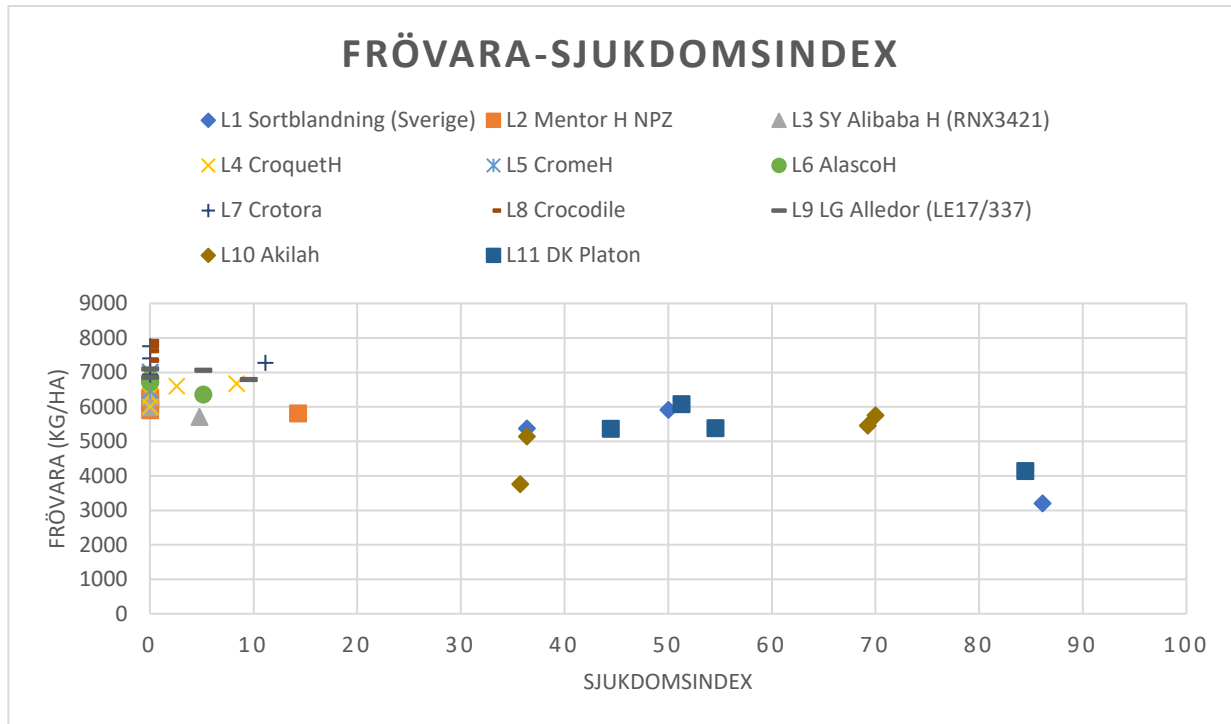
För försöket i Marieholm 2019 (figur 18, figur 19) visade variansanalysen att skillnaden i skörd var statistiskt säkerställd ($P < 0,05$). De resistenta sorterna Mentor (L3), Alix (L5) och Platinum (L9) hade signifikant lägre fröskörd än den renodlade mottagliga sorten Explicit (L2) medan de resistenta sorterna Alibaba (L4), Croquet (L6), Crome (L7) och Alasco (L8) låg på en ej signifikant skild nivå (figur 19).



Figur 19. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Marieholm 2019. Led 1 och Led 2 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Explicit. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

3.3. 2020

3.3.1. Bollerup



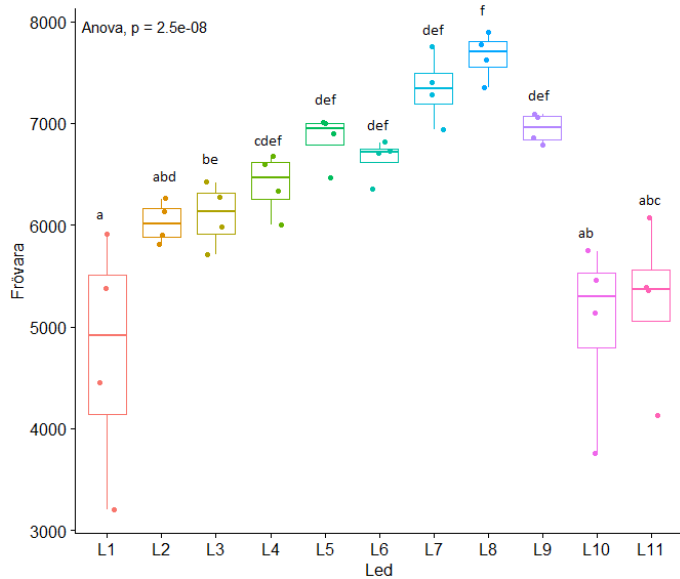
Figur 20. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket på Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.

I försöket i Bollerup 2020, med hög förekomst av *P. brassicae*, hade de mottagliga sorterna ett sjukdomsindex mellan 35 och 86. Trots det var de kapabla till att ge skörd på över 5000 kg/ha (figur 20). ANOVA visade att skillnaden i fröskörd och sjukdomsindex var statistiskt säkerställd ($P < 0,05$) (figur 21; figur 22).

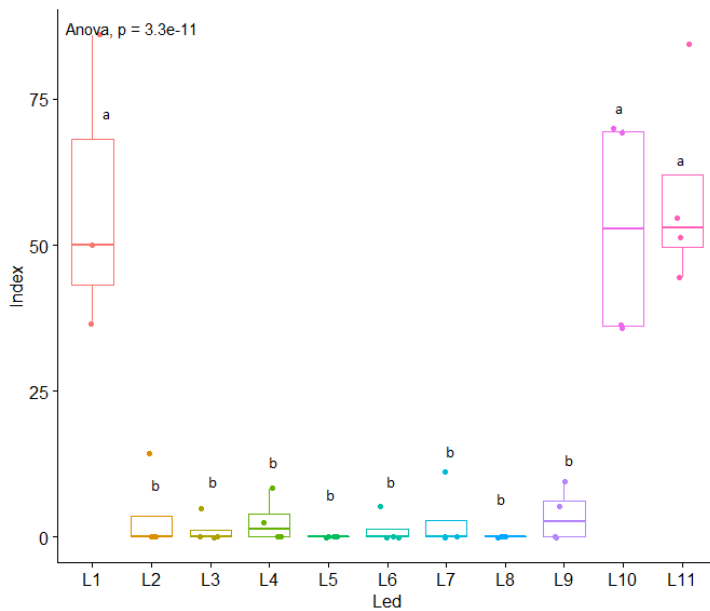
Av de resistenta sorterna gav Crocodile (L8) signifikant högre fröskörd än de mottagliga sorterna i sortblandningen (L1) och den renodlade Akilah (L10) samt de resistenta sorterna Mentor (L2), Alibaba (L3) och Platon (L11) (figur 21).

För sjukdomsindex var de mottagliga sorterna (sortblandningen och Akilah) samt den resistenta sorten Platon signifikant skilda från de resistenta sorterna L2-L9 med högre sjukdomsindex (figur 22).

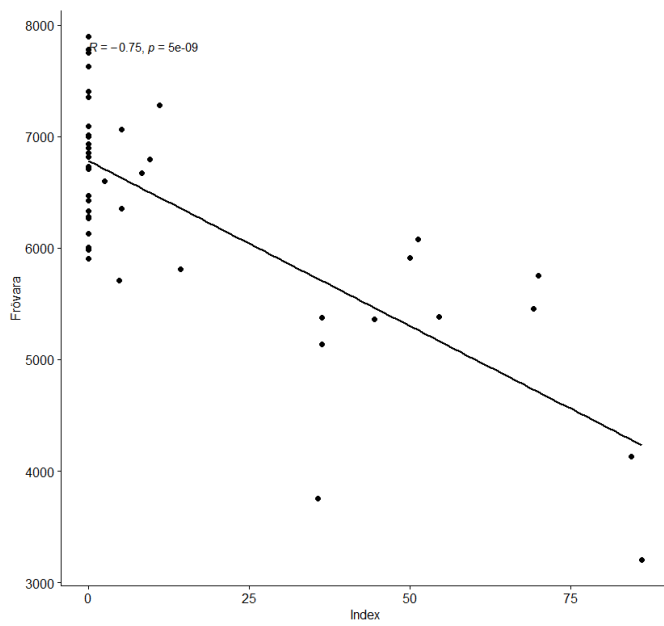
Pearson's metod visade en negativ linjär korrelation ($R = -0,75$) mellan skördenivå och sjukdomsindex för samtliga sorter (figur 23).



Figur 21. Fröskörd(kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

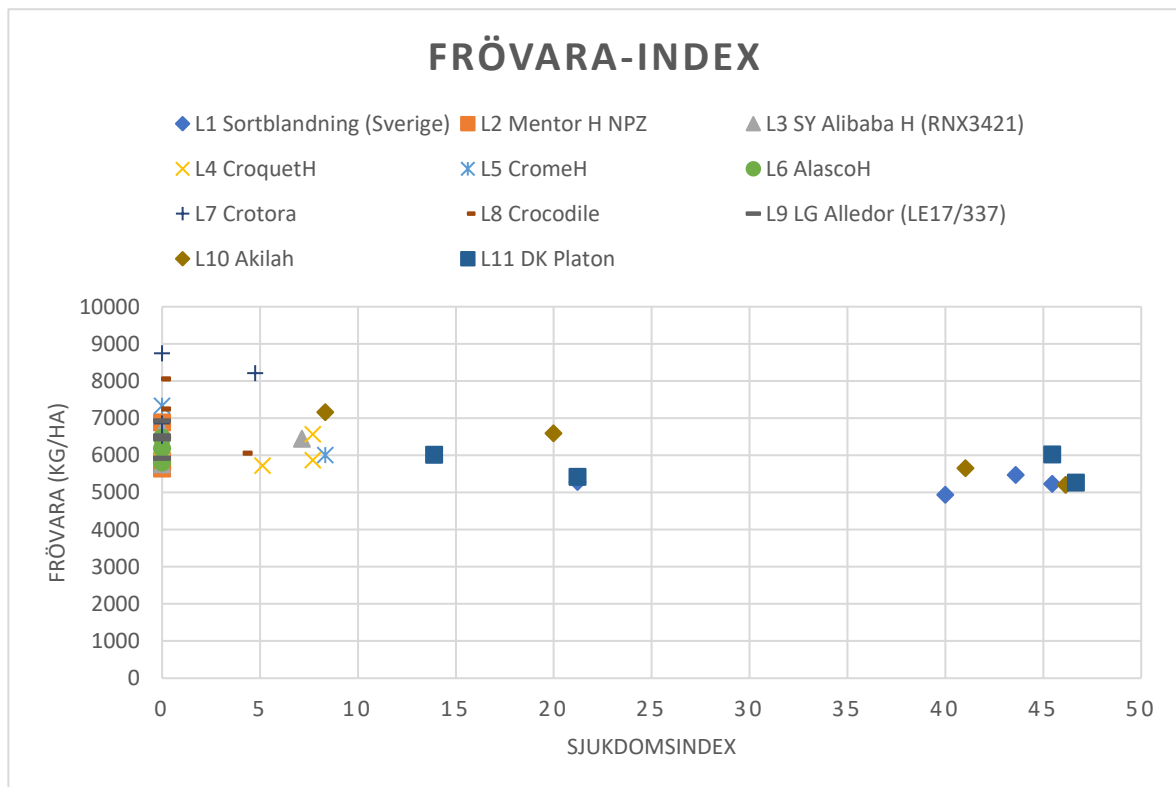


Figur 22. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Bollerup 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led-($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).



Figur 23. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket Bollerup 2020. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $Y=Rx+m$

3.3.2. Simrishamn



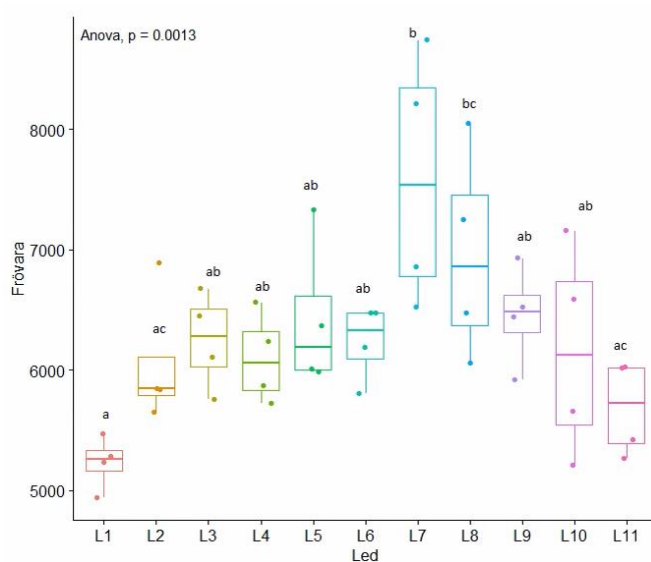
Figur 24. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket i Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.

I försöket i Simrishamn 2020, med hög förekomst av *P. brassicae* fick de mottagliga sorterna (sortblandningen och Akilah) och den resistenta sorten Platon ett sjukdomsindex mellan 8 och 46 och gav en skörd på över 5000 kg/ha (figur 24). ANOVA visade att skillnaden i fröskörd och sjukdomsindex mellan sorterna var statistiskt säkerställd ($P < 0,05$) (figur 25; figur 26).

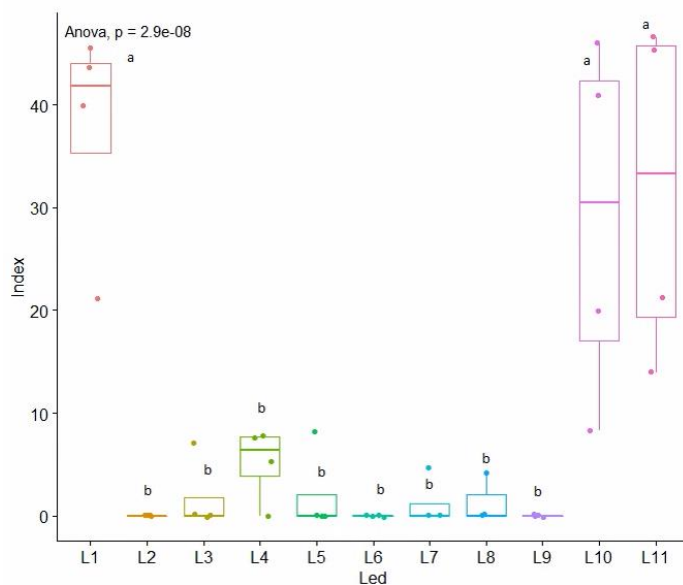
Den resistenta sorten Crotora (L7) gav signifikant högre skörd än den mottagliga sortblandningen (L1) och den resistenta sorten Mentor (L2) och Platon (L11) (figur 22). Den resistenta sorten Crocodile (L8) gav signifikant högre fröskörd än sortblandningen (figur 25).

För sjukdomsindex var de mottagliga sorterna (sortblandningen och Akilah) samt den resistenta sorten Platon signifikant skilda från de resistenta sorterna L2-L9 med högre sjukdomsindex (figur 26).

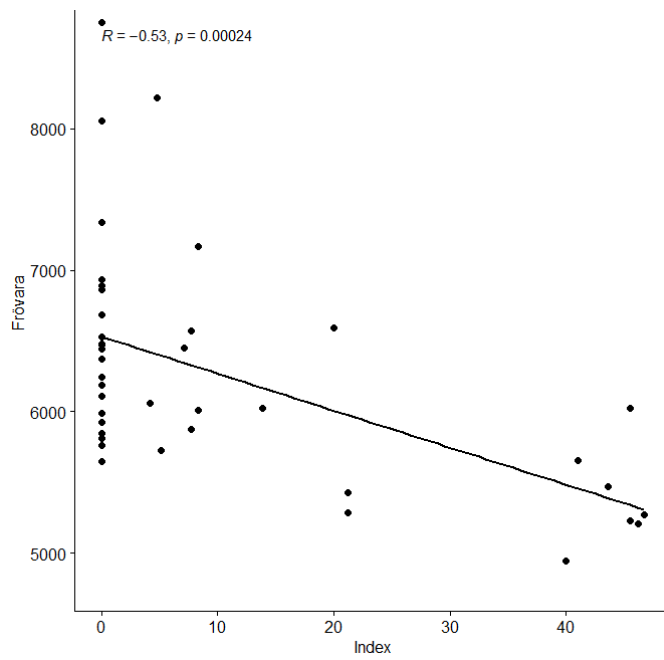
Pearson's metod visade en negativ korrelation ($R = -0,53$) mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter (figur 27).



Figur 25. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

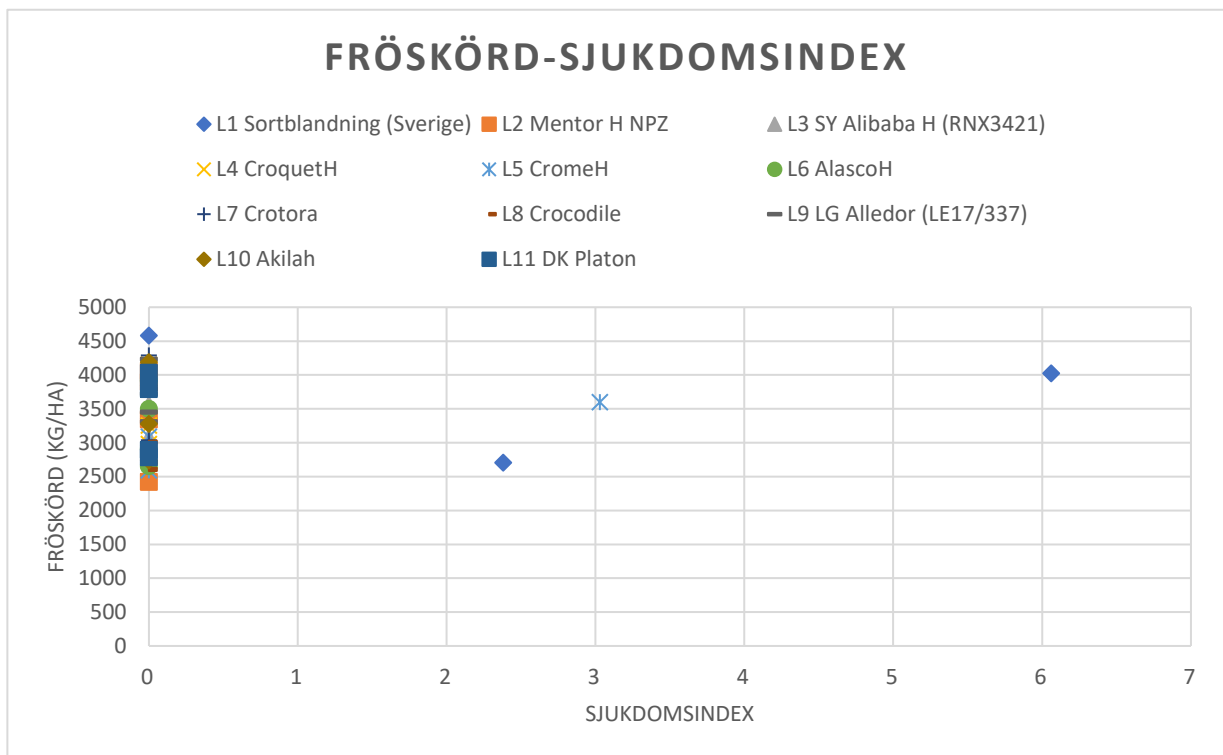


Figur 26. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Simrishamn 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna Sortblandningen och Akilah. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).



Figur 27. Pearson's korrelation mellan fröskörd och sjukdomsindex för samtliga sorter i försöket Simrishamn 2020. Skörden är linjärt fallande med ökat angrepp. $y=Rx+m$

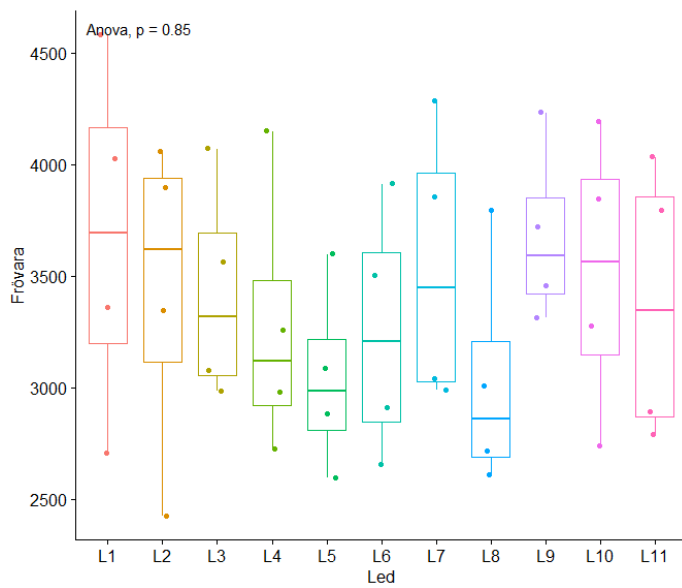
3.3.3. Kalmar



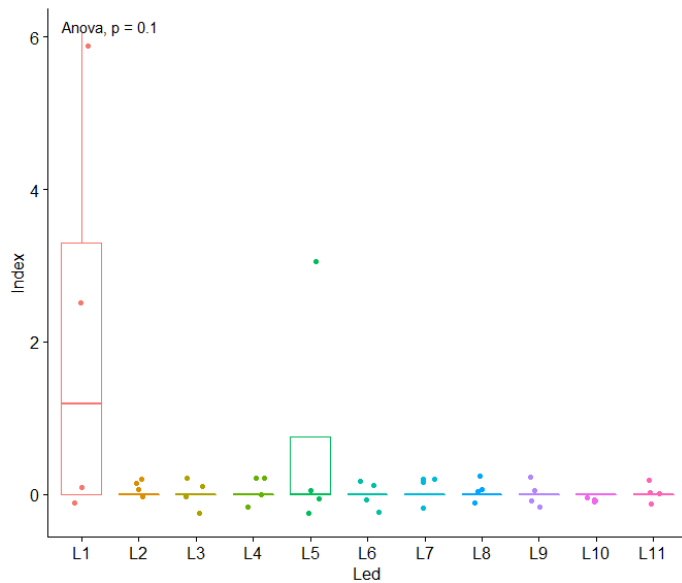
Figur 28. Rutvis fröskörd i förhållande till sjukdomsindex för elva försöksled och fyra upprepningar i försöket i Kalmar 2020. Led 1 och Led 10 är de mottagliga sorterna.

I försöket i Kalmar 2020 där fältet hade låg förekomst av *P. brassicae* var det den mottagliga Sortblandningen och den resistenta Crome som visade angrepp av *P. brassicae* (figur 28). Variansanalys visade ingen signifikant skillnad i fröskörd ($P=0,86$) (figur 29) eller sjukdomsindex ($P=0,1$) (figur 30).

Pearson's korrelation (figur 31) kan inte tolkas som något definitivt då endast tre rutor hade angrepp.

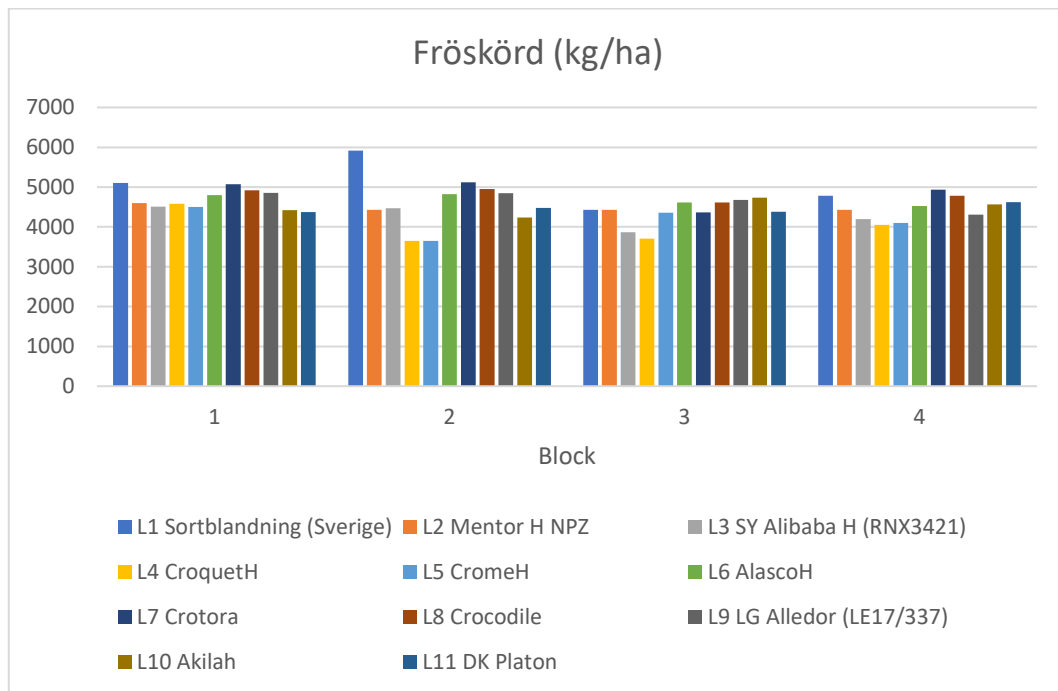


Figur 29. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p -värde i försöket Kalmar 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.



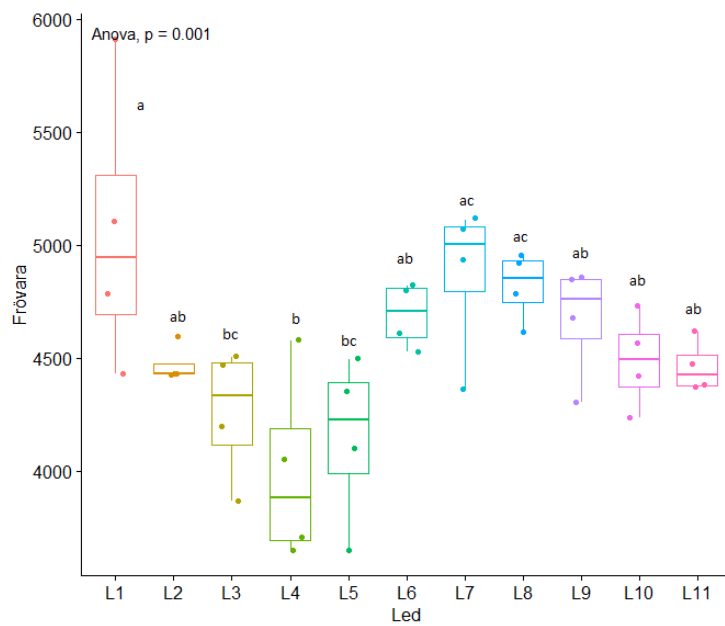
Figur 30. Sjukdomsindex för försöksleden och ANOVA p -värde i försöket Kalmar 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare.

3.3.4. Marieholm



Figur 31. Fröskörd sort för sort, block för block i försöket i Marieholm 2020. Led 1 och Led 10 är mottagliga sorter.

Försöket i Marieholm 2020 hade ingen känd förekomst av *P. brassicae*. ANOVA visade en signifikant skillnad ($P < 0,05$) i skörd mellan sorter (figur 32). De mottagliga sorterna i sortblandningen (L1) tillsammans med de resistenta sorterna Crotora (L7) och Crocodile (L8) gav signifikant högre fröskörd än Croquet (L4) (figur 33). Sortblandningen var även signifikant skild från Alibaba (L3) och Crome (L5) (figur 33).



Figur 32. Fröskörd (kg/ha) för försöksleden och ANOVA p-värde i försöket Marieholm 2020. Den horisontella linjen i låddiagrammet anger medianvärdet, lådan anger övre och nedre kvartilen och det lodräta strecket minimi- och maximivärden som inte klassats som utliggare. Olika bokstäver vid lådorna markerar statistiskt säkerställda skillnader mellan led- ($P < 0,05$, Tukey's test; $n=4$).

4. Diskussion

4.1. Resistens

De första två frågeställningarna i det här arbetet var hur klumprotsjuka utvecklas i de sorter som undersökts i försöksserien, och hur sjukdomsindex varierar beroende på försöksplat och mängd inokulum av *P. brassicae*.

Från försöken 2018 hade fältet i Bollerup 2 300 000 genkopior per gram jord av *P. brassicae* DNA. De mottagliga sorterna utvecklade kraftig klumprotsjuka, och hos de resistenta sorterna var angreppen allmänt låga där sjukdomsindex (SI) varierade mellan 0 och 20 (figur 6).

I Simrishamn, där fältet hade 1 100 000 genkopior *P. brassicae* DNA per gram jord, så hade de resistenta sorterna, utom Pliny, ett sjukdomsindex (SI) mellan 5 och 30 (figur 8). Den resistenta sorten Pliny fick angrepp med en variation i sjukdomsindex (SI) mellan 10 och 45, där två av fyra rutor hade 32 respektive 45 i sjukdomsindex, dock var Pliny inte signifikant skild från övriga resistenta sorter. En rapssort med resistens mot klumprotsjuka anses vara mottaglig om den utvecklar klumprotsjuka med sjukdomsindex över 30 (Wallenhammar et al. 2021). Ett lägre medelsjukdomsindex noterades för Alix, som var den enda av de resistenta sorterna som var signifikant skild från sortblandningen (figur 10).

Dock hade de mottagliga sorterna tillskillnad från de resistenta sorterna lägre SI i Simrishamn jämfört med Bollerup. Fältet i Bollerup hade mer än dubbelt så mycket *P. brassicae* DNA som fältet i Simrishamn, men båda nivåerna betraktas som mycket höga. De resistenta sorterna fick högre angrepp i Simrishamn medan de mottagliga fick lägre angrepp. Jämfört med försöket i Simrishamn 2018 hade Pliny inga rutor med kraftigt avvikande angreppsnivåer i Bollerup - dess sjukdomsindex låg i linje med övriga resistenta sorter. En studie där man odlat en mottaglig sortblandning och de resistenta sorterna Mentor, Alister och Archimedes på fält i Tomelilla (Bollerup) och i Simrishamn med liknande mängd *P. brassicae* DNA samt ett fält i Kumla med låg förekomst av *P. brassicae* (15 000 genkopior per gram jord) visade också samma skillnad mellan fält med olika mängd *P. brassicae* DNA, där de resistenta sorterna fick högre angrepp i Simrishamn och

Kumla än de fick i Tomelilla. (Wallenhammar et al. 2021). I biotesterna som utfördes i den studien (Wallenhammar et al. 2021) visade det sig att odling under gynnsamma förhållanden för *P. brassicae* gav tydliga resistensbrott. I fältförsök utförda av Gossen (2017) i Kanada visade ett fält med <1000 genkopior per gram jord av *P. brassicae* DNA gav angrepp på 45% av de mottagliga plantorna med SI på 19. Vid värden över 50 000 genkopior per gram jord avråder SFO odling av mottaglig sort, men *P. brassicae* kan ge höga angrepp även vid låg förekomst under gynnsamma abiotiska förutsättningar.

Det som driver angrepp av *P. brassicae* är markfukt och temperatur. Väderstationen Skillinge utanför Simrishamn registrerade en nederbörd på 466 mm från första augusti till sista december 2017, vilket var 50% till 100% högre nederbörd än normalår (figur 1). Väderstationen i Valterslund utanför Bollerup registrerade en nederbörd på 386 mm under samma tid. Det skilde 80 mm i nederbörd mellan försöksplatserna vilket bör ha påverkat sjukdomsutvecklingen. Det verkar vara vattenhalten i marken som spelar störst roll för *P. brassicae*'s förmåga att infektera plantorna enligt Dixon (2009). Skillnader i vattenhalt eller vattenmättnad är också en trolig orsak till resultaten i detta arbete från växtodlingsåren 2017/2018 och 2018/2019.

En sådan allmän skillnad i sjukdomsutveckling mellan Bollerup och Simrishamn blev det inte år 2020 då fältet i Bollerup hade 46 000 genkopior per gram jord av *P. brassicae* DNA och fältet i Simrishamn hade 110 000 genkopior per gram jord. Då skilde det 59 mm i nederbörd mellan dessa försöksplatser. Hos den resistenta sorten Platon ser det ut som att resistensen är bruten. Den hade ett högt SI (>50) tillsammans med de mottagliga sorterna i sortblandningen och den renodlade mottagliga sorten Akilah i försöket i Bollerup (figur 20 och 22) och i Simrishamn (figur 24 och 26). De övriga resistenta sorterna hade SI mellan 0 och 14 i försöket i Bollerup 2020 (figur 20). I Simrishamn hade de resistenta sorterna, utom Platon, värden i SI som inte överskred 9 (figur 24). Nederbörden i Bollerup och Simrishamn år 2019/2020 var 128 mm respektive 149 mm lägre mellan 1:a augusti till 31:e december 2019 än nederbörden under samma tidsspann år 2017/2018.

Det är inte samma sorter som har nollvärden i SI i Bollerup och i Simrishamn 2020 utan Alledor som hade högst medel i Bollerup hade noll i SI i Simrishamn. Det som gör skillnaden mellan Bollerup och Simrishamn är rutor med avvikande värden. Bortser man från dessa ser man att sorter som Mentor, Crome, Alasco, Crotera, Alibaba och Crocodile har noll i sjukdomsindex. De rutor med dessa resistenta sorter som har fått ett avvikande värde i angrepp ligger nära varandra i samma block eller i blocket bredvid i samma rad. En anledning kan vara att *P. brassicae* ofta uppträder ojämnt, med fläckvis större förekomst, och att det kan ha påverkat den delen av försöket. I en tidigare svensk studie (Wallenhammar et al.

2021) visade analyser en ledvis skillnad i mängden genkopior i försöksfältet. I de här undersökta försöken angreps sorten Croquet i två av fyra rutor i Bollerup och tre av fyra i Simrishamn vilket tyder mer på att det är själva sorten som inte har fullständig resistens.

4.2. Skörd på platser med *P. brassicae*

Arbetets tredje frågeställning var hur olika sorter fungerar, med avseende på fröskörd, på försöksplatser med känd förekomst av *P. brassicae*.

I försöken som skördades 2018 gav de resistenta sorterna en skörd mellan 4500 kg/ha och 6500 kg/ha i försöket i Bollerup (figur 4), vilket var signifikant högre än skörden för de mottagliga sorterna. De andra resistenta sorterna låg på en relativt jämn skördenivå (figur 5). Explicit hade en ruta där skörden var mycket låg (294 kg/ha) med ett högt sjukdomsindex på 86,6 (figur 4), vilket visar potentialen hos patogenen att ödelägga en odling. Sortblandningen klarade sig bättre än Explicit med en signifikant högre medelskörd. Pearson's visade en korrelation mellan skörd och sjukdomsindex på $R = -0,9$ för samtliga sorter i Bollerup, Explicit med sin ruta med väldigt låg skörd och högt sjukdomsindex gör att linjen får en större lutning jämfört med Simrishamn.

I försöket i Simrishamn gav de resistenta sorterna, utom Pliny, en skörd mellan 2600 kg/ha och 4500 kg/ha, vilket var signifikant högre än skörden av den mottagliga sorten Explicit (figur 9). Sortblandningens fröskörd var inte signifikant skild fröskörden från Platinium och Pliny. Pearson's gav en korrelation på $R = -0,78$ mellan fröskörd och sjukdomsindex mellan de mottagliga sorterna på försöket i Simrishamn (figur 8).

I försöken 2019 noterades att Crome gav en tendens till högre medelskörd (inte signifikant) än sortblandningen och Explicit i Bollerupförsöket (figur 15). På försöksplatsen i Simrishamn var det Alasco som visade tendens till högre medelskörd (inte signifikant) och Alix hade signifikant lägre skörd än de mottagliga sorterna och Alasco. Sortblandningen och Explicit låg i stort sett i nivå med varandra och med Crome i medelskörd (figur 17).

I försöken år 2020 gav de resistenta sorterna en skörd mellan 5500 kg/ha och 8000 kg/ha på försöket i Bollerup (figur 20). Det noterades att Crocodile visade tendens till högre medelskörd (inte signifikant högst) och var signifikant skild från de resistenta sorterna Mentor, Alibaba och Platon samt den mottagliga sortblandningen och den renodlade mottagliga Akilah.

I Simrishamn gav de resistenta sorterna en skörd mellan 5500 kg/ha och 9000 kg/ha. De resistenta sorterna Crotora och Crocodile var signifikant skilda från sortblandningen men inte den renodlade mottagliga sorten Akilah som gav högre skörd än sortblandningen, dock inte signifikant högre. Pearson's visade en negativ korrelation mellan sjukdomsindex och fröskörd för de mottagliga sorterna med $R =$

-0,75 på försöket i Bollerup 2020 (figur 23) och $R = -0,53$ på försöket i Simrishamn 2020 (figur 27)

I Kalmar 2020 är det svårt att peka ut en sort som är klart bättre då det är stor spridning med över 1 ton skillnad i skörd mellan blocken hos alla sorter och ingen signifikant skillnad finns. Tittar man på medelskörden (figur 29) så ligger sortblandningen och den mottagliga Akilah över eller i nivå med medelskörden hos de resistenterna. Men det är låga skördar jämfört med vad sorterna levererade i Bollerup och Simrishamn och ingen sort är signifikant skild från övriga.

De flesta resistenterna sorterna gav alltså signifikant högre skördar än de mottagliga sorterna på försöksplatserna med hög förekomst av *P. brassicae*. Resistenterna sorter som Platon och Pliny som fått resistensen bruten i ett eller fler av försöken har i de fallen inte varit signifikant skild från de mottagliga sorterna. Skillnaden i fröskörd mellan de resistenterna sorterna lär ha blivit påverkade av variationer i fältförhållanden utöver sortegenskaper och klumprotsjuka. Det kan man tydligt se försöksåret 2018/2019 (figur 14, 16 och 18) då fröskörden för samma sort varierade mellan blocken.

4.3. Skörd på platser utan *P. brassicae*

Arbetets fjärde frågeställning var hur avkastningen hos resistenterna sorter förhåller sig till den hos mottagliga, på försöksplatser utan känd förekomst av *P. brassicae*. På försöket i Vellinge 2018 var det allmänt låga skördar, <3000 kg/ha, och som med försöket i Kalmar är det en spridning mellan 1000 kg/ha till 1500 kg/ha mellan rutorna utan några signifikanta skillnader (figur 13). Med så låga och varierande skördar var det sannolikt abiotiska förutsättningar som påverkade resultaten och ingen av sorterna kunde prestera bra.

I Marieholm 2019 gav sorterna skördar mellan 4000 kg/ha och 5500 kg/ha. Det noterades att Croquet och Crome hade de högsta skördarna av de resistenterna sorterna, skilda från de resistenterna sorterna Mentor, Alix, Platinum och Pliny (figur 19). Eftersom försöken 2019 bara hade enstaka plantor som var svagt angripna även på försöken med hög förekomst av *P. brassicae* borde de mottagliga sorterna haft de högsta skördarna under lika förhållanden. De har legat i nivå eller precis över de flesta resistenterna sorter i medelskörd. Eftersom skörden varierar med mellan 500 och 1000 kg/ha och ibland mer mellan rutorna har medelskörden dragits ned. Det gör det svårt att peka ut en resistent sort som kan ge lika bra skörd som en mottaglig men Crome har legat i nivå med eller över de mottagliga sorterna i alla tre försöken.

I Marieholm 2020 hade Croquet, Alibaba och Crome en signifikant lägre skörd än sortblandningen (figur 33). Crotora och Crocodile hade högst skörd av de resistenterna sorterna men var endast signifikant skilda från Croquet.

Generellt sett hade de resistenta sorterna lägre medelskörd än de mottagliga i sortblandningen eller den renodlade. En av de resistenta sorterna, Crome, visade sig ge lika eller högre medelskördar än de mottagliga på alla försöksplatser 2019 när ingen klumprotsjuka utvecklades.

4.4. Gemensamma sorter

Eftersom dessa fältförsök är ämnade åt att testa klumprotsresistenta potentiella marknadssorter är det få sorter som förekom under alla försöksåren. Endast Mentor, Alibaba och Alasco odlades under alla tre åren. Dessa blir de mest intressanta att jämföra eftersom man kan se hur de uppförde sig år för år på samma försöksplats.

Mentor är en hybrid-sort framtagen av NPZ år 2014 samma företag som förädlade Mendel år 2001 och har varit med sedan OS-25 försöken startade år 2014. Alibaba är förädlad av Syngenta och år 2017 tog SFO in den i OS-25 försöket, medan Alasco som är förädlad av brittiska LGseeds och togs in 2018.

Tabell 5. Medelfröskörd i kg/ha från de gemensamma sorterna och försöksplatserna.

Sort	Bollerup 2018	Simrishamn 2018	Bollerup 2019	Simrishamn 2019	Bollerup 2020	Simrishamn 2020
Mentor	5051	3360	5005	5063	6027	6057
Alibaba	6000	3905	5165	5786	6100	6251
Alasco	5249	4012	4794	6349	6942	6237

Tabell 6. Medelsjukdomsindex från de gemensamma sorterna och försöksplatserna

Sort	Bollerup 2018	Simrishamn 2018	Bollerup 2020	Simrishamn 2020
Mentor	8,9	8,44	3,57	0
Alibaba	10,6	15	1,19	1,78
Alasco	5,76	11,8	1,28	0

Mentor och Alasco har samma resistenskälla (Gunnarsson 2019) och eftersom Mentor är förädlad av NPZ kan man anta att källan är sorten Mendel. Det gör att Mentor och Alasco har heterozygotresistens. Resistensgenen från Mendel antas även finnas i sorten Crome, förädlad av LS plant breeding i Storbritannien en gren av NPZ, då den har samma resistens som Mentor (Burnett et al. 2019). Den typen av resistens som finns i Mendel är patotypspecifik. Mendel var resistent mot patotyperna 2, 3, 5, 6, och 8 enligt Williams test (Rahman et al. 2014). I Kanada förädlades nya resistenta sorter, den första år 2009, baserade på Mendel eftersom

den var resistent mot deras patotyper, men på grund av selektionstrycket har en variation av patotyp 5 utvecklats, patotyp 5X, som var väldigt virulent på deras sorter. De första rapporterna om att resistensen var bruten kom 3-4 år efter den första nya sorten släpptes (Fredua-Agyeman et al. 2018).

4.5. Fortsatta studier

De sorterna som undersökts i de här försöksserierna har patotypspecifik resistens och de är resistent mot en eller flera patotyper och mottaglig för andra. På de återkommande försöksplatserna Bollerup och Simrishamn skulle det vara intressant att undersöka vilka patotyper som finns där och om fördelningen ändras på fältet efter ett försök, om en eller flera patotyper uppföras. Förädlingsföretagen offentliggör inte detaljerad information om vilken typ av resistens de olika sorterna har, och om olika sorter har samma typ av resistens. I stycket ovan skrev jag om att Mentor, Alasco och Crome antas ha samma resistensgen från Mendel och att i Kanada förädlades nya sorter baserade på Mendels resistensgen och att den bröts efter 3-4 år.

Dessa resultat är väldigt plats- och årsspecifika med 2018 och 2019 som var två år med mycket respektive lite nederbörd. För att få mer sammanhängande resultat krävs att man gör en studie där man sammanställer samtliga försöksår och platser med väderdata och jordarter för att kunna peka ut vad som avgör skillnaden i angrepp, samt att man sammanställer och jämför sortegenskaper, till exempel vinterhärdighet, för att bestämma vad som ger skillnaden i skörd.

Utöver skillnader i nederbörd och eventuell temperatur mellan försöksplatserna Bollerup och Simrishamn 2018 kan en förklaring för skillnader i angrepp vara skillnader i förekomsten av olika patotyper av *P. brassicae*. Isolat av mottaglig sortblandning från försöksfälten 2017/2018 har nyligen karaktäriserats (Wallenhammar, muntligen) och isolat skiljer sig mellan platsen i Bollerup och Simrishamn.

4.6. Slutsats

Av de resistent sorter som testades 2018 var det ingen som konsekvent hade lägst angrepp över de olika försöksplatserna. Även om Alix och Alasco inte hade lägst medelsjukdomsindex i försöket i Bollerup var det ändå lägre än i Simrishamn.

Av de sorter som testades 2020 gav avvikande rutor skilda resultat mellan Bollerup och Simrishamn. Bortsett från dem hade samtliga resistent sorter förutom Croquet, Platon och Alledor, som hade angrepp i flera rutor, inga angrepp 2020.

De resistenta sorterna låg inom marginalen för vad som anses som en klumprotsresistent sort (<30 i sjukdomsindex). Endast Platon låg över gränsen, vilket visar att sorten har fått sin resistens bruten.

Ett växtodlingsår som 2017/2018 där det regnade mycket under hösten visade att resistensen kan pressas, som hos Pliny där resistensen visar tydliga tecken på att inte hålla, på fält med lägre förekomst av *P. brassicae* under gynnsamma förhållanden. Ännu tydligare blir det om man tittar på hur de gemensamma sorterna (Mentor, Alasco och Alibaba) uppförde sig under de tre försöksåren, så ser man att det var ett allmänt bättre växtodlingsår 2019/2020 (tabell 4).

Referenser

- Buczacki, S.T., Toxopeus, H., Mattusch, P., Johnston, T.D., Dixon, G.R. & Hobolth, L.A. (1975). Study of physiologic specialization in *Plasmodiophora brassicae*: Proposals for attempted rationalization through an international approach. *Transactions of the British Mycological Society*, 65 (2), 295–303. DOI: 10.1016/S0007-1536(75)80013-1
- Burnett, F., Boor, T., Dussart, F. & Smith, J. (2019). Developing sustainable management methods for clubroot. Project Report No. 608, Agriculture and Horticulture Development Board. <https://pure.sruc.ac.uk/en/publications/da779a8b-3941-4ea2-8cb9-3fa1cf51d20c>
- Deora, A., Gossen, B.D., Walley, F. & McDonald, M.R. (2011). Boron reduces development of clubroot in canola. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 33 (4), 475–484, DOI: 10.1080/07060661.2011.620630
- Diederichsen, E., Beckmann, J., Schondelmeier, J. & Dreyer, F. (2006). Genetics of clubroot resistance in *Brassica napus* 'Mendel'. *Acta Horticulturae*, (706), 307–312. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.706.35
- Diederichsen, E., Frauen, M. & Jutta, L.-M. (2014). Clubroot disease management challenges from a German perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36 (sup1), 85–98, DOI: 10.1080/07060661.2013.861871
- Diederichsen, E., Frauen, M., Linders, E.G.A., Hatakeyama, K. & Hirai, M. (2009). Status and Perspectives of Clubroot Resistance Breeding in Crucifer Crops. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28 (3), 265–281. DOI: 10.1007/s00344-009-9100-0
- Dixon, G.R. (2009). *Plasmodiophora brassicae* in its environment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28 (3), 212–228. DOI: 10.1007/s00344-009-9098-3
- Engqvist, L.G. (1994). Distribution of clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Wor) in Sweden and the effect of infection on oil content of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Sveriges Utsädesförenings Tidskrift*, 104 (2), 82–86
- Fredua-Agyeman, R., Hwang, S.-F., Strelkov, S.E., Zhou, Q. & Feindel, D. (2018). Potential loss of clubroot resistance genes from donor parent *Brassica rapa* subsp. *rapifera* (ECD 04) during doubled haploid production. *Plant Pathology*, 67 (4), 892–901. DOI: 10.1111/ppa.12816
- Gossen, B.D Travis J. Cranmer, Thomas V. Gludovac, & Mary Ruth Macdonald (2017). Weather thresholds for clubroot development on canola and brassica vegetables. *Canadian Journal of Plant Pathology* 39(4), 1-11. DOI: 10.1080/07060661.2017.1369459
- Gossen, B.D. (2017). Metabolic cost of resistance in clubroot-resistant canola and napa cabbage. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 39 (1), 25–36. DOI: 10.1080/07060661.2017.1292550
- Gossen, B.D., Strelkov, S.E., Manolii, V.P., Rennie, D.C., Cao, T., Hwang, S.F., Peng, G. & McDonald, M.R. (2015). Spread of *Plasmodiophora brassicae* on canola in Canada, 2003–2014: Old pathogen, new home. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37 (4), 403–413. DOI: 10.1080/07060661.2015.1105871

- Gunnarsson, A. (2019). Trångt på sorttoppen i höstraps. Svensk Frötidning 4/19, (13). <https://www.svenskraps.se/kunskap/pdf/02116.pdf>
- Klimatdata - kartor / SMHI (u.å.). <https://www.smhi.se/data/meteorologi/kartor/arstidsnederbord-procent-av-normal/var> [2021-06-20]
- McGrann, G.R.D., Gladders, P., Smith, J.A. & Burnett, F. (2016). Control of clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) in oilseed rape using varietal resistance and soil amendments. *Field Crops Research*, 186, 146–156. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.11.013
- Medelareal raps, rybs och lin, SFO (u.å.). https://www.svenskraps.se/oljevaxt/arealer_oljevaxter_medel.asp [2021-04-20]
- Rahman, H., Peng, G., Yu, F., Falk, K.C., Kulkarni, M. & Selvaraj, G. (2014). Genetics and breeding for clubroot resistance in Canadian spring canola (*Brassica napus* L.). *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36 (sup1), 122–134. DOI: 10.1080/07060661.2013.862571
- Strelkov, S.E. & Hwang, S.-F. (2014). Clubroot in the Canadian canola crop: 10 years into the outbreak. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36 (sup1), 27–36. DOI: 10.1080/07060661.2013.863807
- Strelkov, S.E., Hwang, S.-F., Manolii, V.P., Cao, T., Fredua-Agyeman, R., Harding, M.W., Peng, G., Gossen, B.D., McDonald, M.R. & Feindel, D. (2018). Virulence and pathotype classification of *Plasmodiophora brassicae* populations collected from clubroot resistant canola (*Brassica napus*) in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40 (2), 284–298. DOI: 10.1080/07060661.2018.1459851
- Wallenhammar, A.-C. (1996). Prevalence of *Plasmodiophora brassicae* in a spring oilseed rape growing area in central Sweden and factors influencing soil infestation levels. *Plant Pathology*, 45 (4), 710–719. DOI: 10.1046/j.1365-3059.1996.d01-173.x
- Wallenhammar, A.-C. (1997). Faktablad om växtskydd 44J. Sveriges lantbruksuniversitet. faktablad_om_vaxtskydd_44j.pdf [2021-03-30]
- Wallenhammar, A.-C., Almquist, C., Schwelm, A., Roos, J., Marzec-Schmidt, K., Jonsson, A. & Dixelius, C. (2014). Clubroot, a persistent threat to Swedish oilseed rape production. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36 (sup1), 135–141. DOI: 10.1080/07060661.2013.870606
- Wallenhammar, A.-C., Almquist, C., Söderström, M. & Jonsson, A. (2012). In-field distribution of *Plasmodiophora brassicae* measured using quantitative real-time PCR. *Plant Pathology* 61:16–28. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2011.02477.x
- Wallenhammar, A.-C., Johnsson, L. & Gerhardson, B. (2000). Agronomic Performance of Partly Clubroot-resistant Spring Oilseed Turnip Rape Lines: *Journal of Phytopathology*, 148 (7–8), 495–499. DOI: 10.1046/j.1439-0434.2000.00536.x
- Wallenhammar, A.-C., Omer, Z.S., Edin, E. & Jonsson, A. (2021). Influence of Soil-Borne Inoculum of *Plasmodiophora brassicae* Measured by qPCR on Disease Severity of Clubroot-Resistant Cultivars of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Pathogens* 10 (4), 433. DOI: 10.3390/pathogens10040433
- Williams, P.H. (1966). A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassicae* that infect Cabbage and Rutabaga. *Phytopathology*, 56 (6), 624–626
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Tack

Tack till mina handledare Hanna Friberg och Ann-Charlotte Wallenhammar för god vägledning genom arbetet och för stora kunskaper. Samt tack till Albin Gunnarson försöksledare från SFO som ställde upp på intervju och svarade på frågor angående försöken.