



Hushållnings
sällskapet

Slutrapport

Integrerad bekämpning av klumprotsjuka- avgörande för hållbar höstrapsproduktion

Projektnummer: O-16-20-765

Projektperiod: 2017-01-01-2022-02-28

Huvudsökande:

*Ann-Charlotte Wallenhammar, HS Konsult AB,
Ann-Charlotte.Wallenhammar@hushallningssallskapet.se*

Medsökande:

*Anders Jonsson, RISE & Columella Innovation AB
Zahra Omer, HS Konsult AB
Henrik Nätterlund, HS Konsult AB
Paul Letheus, HIR Skåne*

(Eva Edin, HS Konsult AB, anslöt i projektet 2019)

Del 1: Utförlig sammanfattning

Clubroot disease caused by the soil-borne pathogen *Plasmodiophora brassicae* is a major threat to oilseed rape (OSR) *Brassica napus* L. crops worldwide. OSR crops have been an important cornerstone in Swedish crop production for the past 80 years, and the increasing proportion of clubroot infected arable land has serious consequences for the growers. Infected plots are not only causing yield loss but also limitations of future OSR crops due to the long persistence of the pathogen inoculum in the soil of up to 20 years. An integrated approach to manage the disease is required and use of clubroot resistant (Cr) cultivars is considered as the most effective tool. The aim of this project was to develop a concept for integrated control supported by DNA technology by studying the agronomic properties of selected winter OSR cultivars in field soils with a range of inoculum abundance of *P. brassicae*. Further, to provide information of existing pathotypes and virulent isolates breaking the 'Mendel resistance' and to assess the potential risk of growing oil radish (*Raphanus sativus* var *oleiformis* L) in OSR crop rotations. Influence of soil-borne inoculum of *P. brassicae* measured by qPCR and disease severity (DSI) of Cr- cultivars of winter OSR cv. Archimedes, Alister and Mentor and a susceptible 'Cultivar mix'. They were evaluated for yield performance in field soils, selected for varying abundance of natural inoculum of *P. brassicae*. Seven field trials were carried out during 2017–2019 in winter OSR crops, and comparative bioassays were performed in a growth chamber. Substantial variation in clubroot infection assessed between years was observed in the field trials. For Cultivar mix, a negative correlation was found between inoculum abundance and seed yield in

Projekt har fått finansiering genom:



five trials and the yield loss at DSI 10 was 200 kgs per hectare and at DSI close to 100 yield was decreased by 48percent, whereas no correlation was found for the resistant cultivars

In bioassays, Cultivar mix exhibited a significantly high correlation between DSI and number of gene copies per gram of soil ($R^2 = 0.72$). For resistant cvs. Mentor and Alister, correlations were $R^2 = 0.45$ and 0.58 , respectively, indicating that resistance was under pressure. In field trials, DSI of the resistant cultivars was lower than in biosassays but at sites close to 30, which is the threshold used to distinguish between susceptible and resistant reactions.

The prerequisites for oilseed radish integrated as a catch crop including OSR was carried out in climate chamber bioassays where a susceptible cultivar of winter OSR, Atora and three Cr-cultivars; Alister, Archimedes and Mentor, 12 cultivars of oil radish (OR) (*Raphanus sativus* var *oleifera*), selected cultivars of and *Raphanus sativus* var. *niger*, *Raphanus sativus* var *sativus*, *Brassica rapa* subsp *rapa*, *Brassica rapa* var *thell* white mustard (*Sinapsis alba*) were grown for six weeks and assessed for disease symptoms. The assessments showed that all OR cultivars were infected by clubroot ranging from DSI 2,3-9,2 with no significant differences between cultivars. Alister and Archimedes showed a similar infection, DSI 23, while Mentor was closer to susceptible Atora with DSI 69. White mustard and the *B. napus* cultivars were highly susceptible while *R. sativus* var. *sativus* cultivars were intermediate (SI 18 and 12).

Pathotype determination was carried out by a collaboration with Julius Kühn Institute, Braunschweig, Germany, using the differentials of the European Clubroot Differential Set (ECD) and Cr cultivar Mendel on isolates from three field trials 2017. The results show three different pathotypes; 16/23/29, 16/23/28 and 16/31/31. The level of sensitivity to of Mendel varied from field to field and a Mendel resistant strain occurred at an experimental site in southSweden. These findings highlight the need for extended studies in this area.

We have showed that the selection pressure is considerably higher, i. e. the risk of eroding resistance is higher in soils with high abundance of *P. brassicae*, compared to growing a Cr cultivar in soils with low abundance of inoculum. We therefore recommend the use of Cr cultivars only when inoculum abundance is lower than 100 000 gene copies per gram of soil. The prerequisite is that farmers choose to sample their fields and analyse the soil samples for *P.brassiccae* DNA. The analyses are provided by commercial laboratories in Sweden and is supported by the Swedish Seed and Oilseed Growers. To secure a long term susceptible OSR production fields need to be sampled to a higher extent than at present. When *P. brassicae* DNA is detected in the soil sample a Cr-cultivar is recommended.

We have shown that a disease incidence of 10 percent infected plants causes a yield loss of 200 kgs per hectare corresponding to an economic loss of 1000-1400 SEK depending on the price of seed. A heavy attack in autumn is likely to cause total winter damage. With increasing knowledge of the agronomic performance of the cultivars as shown in this study, an integrated management of clubroot will ensure sustainable OSR production. Oil radish is susceptible to clubroot and the abundance of *P. brassicae* will increase if included as a cover crop or catch crop in an OSR crop rotation. Oil radish is thus not recommended in an OSR- rotation.

We need knowledge on winter hardiness of the Cr cultivars also in central Sweden and recommend that winter kill is evaluated yearly in a selection of commercial cultivars. We also need a systematic monitoring of the occurrence of pathotypes and a survey of the distribution of Mendel resistance breaking strains so that more sustainable strategies of integrated management will be developed.

Dissemination of information of results has been a prioritized task by participating in national and international conferences, farm courses and by publishing in the agricultural press. The international collaboration in the International Clubroot Working Group is also an important network for exchange of information.

Del 2: Rapporten (max 10 sidor)

Inledning

Höstrapsarealen är rekordstor med stora konkurrensfördelar och givet att grödan klarar vinterns påfrestningar finns 125 000 hektar för skörd 2022. Oljeväxter av släktet Brassicaceae har varit viktiga i svenskt jordbruk under de senaste 80 åren [1] och höstraps (*Brassica napus* L) är en bärande och lönsam gröda. Mer höstraps i växtföljden innebär också ökad risk för skördebortfall orsakade av sjukdomar, och rapporter om angrepp av växtsjukdomar som överlever i jorden med vilsporer eller vilokroppar, som klumprotsjuka, bomullsmögel och kransmögel har ökat i Sverige och globalt [2]. Klumprotsjuka är den mest allvarliga jordburna sjukdomen och drabbar oljeväxter och kålväxter av släktet Brassicaceae över hela världen. Skadorna orsakar inte bara betydande skördeförstuster [3] utan också begränsningar av framtida odling då de robusta vilsporeorna finns kvar i jorden upp till nästan 20 år [4]. Den eukaryota organismen som orsakar klumprotsjuka, *Plasmodiophora brassicae*, är en obligat biotrof protist, som tillbringar större delen av livsrytmen inuti växten. Infekterade plantor utvecklar karaktäristiska svulster på rötterna, som ger störningar i vatten- och näringsupptag, leder till ovanjordiska symtom som omfattar gulnande blad som vissnar, hämning av tillväxten, brådmognad och förluster i skörd och kvalitet. Svulsterna innehåller tiotals millioner sporer per gram rot och är robusta med en väl utvecklad mekanism av olika sporväggar som ger ett bra skydd mot nedbrytning av markmikroorganismer. DNA-baserad analysteknik har utvecklats i BioSoM-projektet, och jordanalyser erbjuds av kommersiella laboratorier i Sverige och internationellt. Underlaget för uttolkingen av analyssvaren är baserat på studier i resistent vârrybs [5] och i detta projekt undersöker vi prestandan hos resistent marknadssorter av höstraps.

Utbredningen av klumprotsjuka har ökat i höstrapsodlingar framför allt i södra Sverige, men också i Mellansverige och internationellt sker en stor spridning av rapsodling i Europa, Kanada, Kina och USA. Sporens långa varaktighet i ett infekterat fält gör att kontroll är svår att uppnå med växtföljdsåtgärder. Förädling av resistent sorter har varit ett uttalat mål under många år för att göra odling i infekterad jord möjlig, och betydande insatser har gjorts av svensk växtförädling i vârrybs och höstraps [1]. Utvecklingen av resistent sorter har ökat i takt med att spridningen av klumprotsjuka ökat och är en huvudstrategi i Kanada [6]. Begränsningen är att resistensens effektivitet snabbt kan förloras när selektionstrycket på populationer av patogenen utsätts för resistent sorter som bär på samma resistenskälla. Redan fyra år efter introduktionen konstaterades 2013 att nya så kallade patotyper utvecklats och att resistensen var bruten [7]. Flera resistent höstrapsorter finns på den svenska marknaden och sortimentet förbättras ständigt avseende skördenivå. Sorterna testas på svenska jordar med hög förekomst av *P. brassicae* DNA [8]. Resistent sorter är egentligen *delvis* resistent, eftersom de angrips i viss grad redan vid låga smittonivåer [5] och uppförökar därmed smittan. En begränsning är att samma resistenskälla (Mendelresistens) [9] används i samtliga marknadssorter, och fält där denna resistens har brutits har redan rapporterats från stora delar av Tyskland [10] och Storbritannien [11].

I detta projekt har vi tagit fram data och utvecklat ett koncept för Integrerad bekämpning (IPM) med syfte att varje odlare ska kunna hantera *P. brassicae* så att en hållbar rapsodling över tid kan säkerställas. Den DNA-baserade analysmetoden är ett viktigt verktyg för att både upptäcka och övervaka patogenen [12]. Politiska beslut utmanar rapsodlingen då oljerättika förs fram som en viktig spelare i det fånggrödestöd som kan sökas från och med 2023. Här finns ett stort behov av analys av resistensegenskaperna hos oljerättika och av informations spridning.

Syftet var att ta fram ett koncept för integrerad bekämpning av *P. brassicae* med stöd av DNA-teknik genom att undersöka och jämföra angreppsnivåer och avkastning hos resistenta och mottagliga höstrapsorter. Vidare utreds om oljerättika i växtföljden kan påverka uppföringen av *P. brassicae*. **Målet** var att ta fram ett beslutsunderlag för hållbar odling av höstraps på fält där *P. brassicae* förekommer och bedöma om oljerättika kan integreras som fånggröda i en rapsväxtföljd.

Materiell och metoder

Projektet genomfördes i fyra arbetspaket (AP) och till stora delar under 2017–2019.

AP1. Undersökning av agronomisk prestanda hos resistenta sorter i jordar med olika mängd *P. brassicae* DNA

Hypotes 1: I jord med höga nivåer av *P. brassicae* DNA är selektionstrycket betydligt högre, dvs resistensen bryts snabbare än om resistenta sorter odlas i jord med låg nivå av *P. brassicae* DNA.

Fältförsök. Tre resistenta sortstyper av höstraps, SY Alistar, NPZ Mentor och LI Archimedes och jämfördes med sortblandning som bestod av Avatar, Dariot, Explicit och Exstorm, 2017 och av Avatar, Explicit, Mercedes och Harnas, 2018 och såddes i fem fältförsök 2017 och tre fältförsök 2018. Försöken genomfördes i en randomiserad block-design med fyra upprepningar på fält med olika mängd *P. brassicae* DNA, definierad som låg (<1300 genkopior per gram jord), måttlig (1300–50 000 genkopior per g⁻¹ jord), hög (50 000–325 000 genkopior g⁻¹ jord), och mycket hög (>325 000 genkopior g⁻¹ jord) [13]. på fält i Tomelilla, Simrishamns, Kumla och Hallsbergs kommuner. Sådden planerades att göras senast 15 augusti, men väderleken medförde senareläggning. Sådden 2017 genomfördes 9 augusti i Kumla, 15 augusti i Hallsberg, 25 augusti i Simrishamn och 26 augusti i Tomelilla. 2018 genomfördes sådden 15 augusti i Kumla, 17 augusti i Simrishamn och 21 augusti i Tomelilla. Gödsling och ogräsbekämpning utfördes av försöksvärden, medan fungicidbehandling av försöket gjordes av försökspatrullerna för att utesluta skördepåverkan av framför allt bomullsmögel. Provtagning för identifiering av lämpliga försöksfält genomfördes av Hushållningssällskapet i samarbete med SFO. I samband med sådd togs i varje ruta 25–30 stick slumpmässigt i de översta 20 cm av matjorden som förvarades svalt till senare biotest. Delproverna blandades till ett samlingsprov från vilket ett prov för DNA-analys togs ut enligt protokoll som beskrivs i Jonsson & Wallenhammar [13].

Analyser och bestämningar

Jorden analyserades vid DNA-laboratoriet vid Inst. f mark och miljö SLU, Skara. DNA extraherades från 350 mg jordprover enligt metod beskriven i Wallenhammar et al., [14]. Utvärdering av sjukdomsangrepp i fältförsöken gjordes på 25 plantor per ruta som grävdes upp i mitten av november, placerades i plastpåsar och transporterades med bud till laboratoriet i Örebro, där rötterna noggrant sköljdes i rinnande kranvatten och bedömdes för infektion. Rötterna bedömdes enligt följande klassificering: 0 = inga svulster; 1 = små svulster på laterala rötter; 2 = medelstora svulster (<50% av rotsystemet angripet); 3 = stora svulster (> 50% av rotsystemet angripet). Angreppets styrka uttrycks som sjukdomsindex (SI) och beräknas enligt följande formel:

$$DSI = \frac{\sum (\text{Klass nr}) \times (\text{Antal plantor i varje klass})}{(\text{Totalt antal plantor}) \times (\text{Antal klasser} - 1)}$$

Under 2019 gjordes ytterligare en sjukdomsbedömning i stubben efter skörden, på 25 plantor som slumpmässigt grävdes upp och hanterades enligt ovan. Därtill grävdes tio plantor per ruta

upp från serien OS7-25, sortprovning av resistenta sorter, från totalt sju försöksplatser 2017–2019. Cirka 3000 plantor graderades enligt ovan. Därtill graderades 440 plantor i OS7-025-003 år 2021 inom ramen för projektet. Resultaten redovisas separat i ett kandidatarbete vid SLU, av Persson [15].

Jordpreparering. Jordproverna förvarades i svalt fram till ankomsten till laboratoriet, där jorden hälldes i folieformar (207 x 141 mm), klumpar smulades för hand och stenar avlägsnades före torkning vid rumstemperatur till 5% vattenhalt. Den torkade jorden lagrades sedan vid 10 °C. Jorden blandades genom att samlingsprovet hälldes i en plastpåse stängd med ett buntband som placerades i en yttre plastpåse stängd med en påsförslutning och kördes i en cementblandare (MEEC 63 l, 220 W, 27,5 rpm) i 5 minuter. 500 g av jorden vägdes in i en 1,0 L plastbehållare (HPPE-plast), där tre stålkulor (diameter 12 mm) och tre skruvmuttrar (14 mm) lades i. Behållaren stängdes med lock och skakades i en färgskak (Svenska Skandex AB) i 45 s vid 1000 varv per minut. Sedan överfördes 50 g av varje prov till ett 50 mL Falconrör, från vilket ett delprov togs ut för DNA-analys. Resten av jorden hälldes tillbaka i samlingsprovet som sedan användes för biotesterna.

Biotest. Alla sorter som användes i fältförsöken testades i biotester. Samlingsprovet delades in i fyra krukor (Göttinger, 9 x 9 x 9,5, volym 0,5 L). Biotesterna utfördes i en växtkammare (SLU, Skara) i en helt randomiserad design replikerad fyra gånger under en sexveckorsperiod, för att säkerställa optimal infektion enligt Wallenhammar [16]. Femton frön per kruka av varje resistent sort och den mottagliga sortblandningen såddes och gallrades till 10 plantor vid första örtbladstadiet. Plantorna sköljdes vid biotestets avslut i rinnande vatten innan bedömning. Infekterade rötter bedömdes enligt följande: 0 = inga svulster; 1 = förstörade sidorötter; 2 = förstörad huvudrot; 3 = förstörad, uppsvälld huvudrot; 4 = förstörad uppsvälld huvudrot, laterala rötter friska; 5 = förstörad uppsvälld huvudrot, laterala rötter infekterade. Sjukdomsindex (SI_b) beräknades enligt ovan.

Statistik

Resultaten bearbetades med hjälp av ANOVA-tester följt av Tukeys HSD-test ($p < 0,05$) i JMP 15.2 (SAS Inst. Inc. Cary, NC). Interaktioner mellan logaritmen av antalet genkopior g^{-1} jord och avkastning, sjukdomsindex och sjukdomsincidensen för sorterna i fältförsöken och biotesterna beräknades med hjälp av regressionsanalys i JMP 15.2.

AP2. Identifiering av fält med virulenta isolat av *P. brassicae*

Hypotes 2: Virulenta isolat finns redan i odlingsdistrikten

Svulster från mottagliga sorter i fältförsöken förvarades i frys, och skickades till Dr Nazaniin Zamani Noor, Julius Kuhn Institute, Braunschweig, Tyskland, för karaktärisering med olika differentialsortiment.

AP3. Förutsättningar för oljerättika att integreras som fånggröda i en rapsväxtföljd

Hypotes 3: Oljerättika har en hög grad av resistens mot *P. brassicae* men det finns variationer mellan sorter och platser. Oljerättika som fånggröda kommer att öka förekomsten av *P. brassicae* om inkluderad i en rapsväxtföljd

I biotester undersöktes reaktionen hos ett stort sortiment av oljerättika (12 sorter) med vitsenap, mottaglig och resistenta höstrapsorter, rädisa, maträttika, majrova och svedjerova med metod beskriven ovan. En jordblandning som utprovats med naturlig smitta av *P. brassicae* användes. Testerna upprepades tre gånger under 2019, SLU, Skara

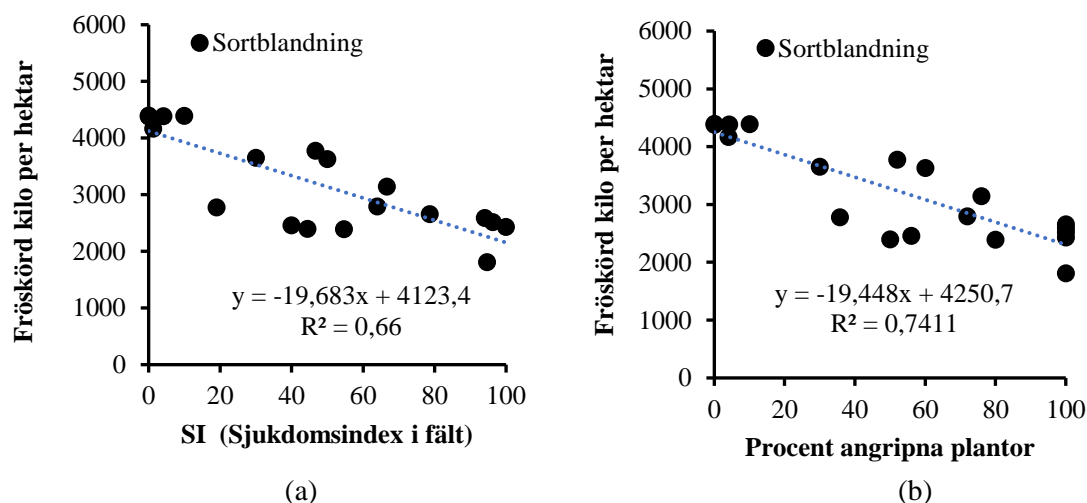
AP 4. Strategi för att odla höstraps på fält med förekomst av *P. brassicae*

Resultat och diskussion

Detaljerad beskrivning finns i publikationen [18] Pathogens

Hur stor blir skördeförlusten i mottaglig sortblandning vid ett angrepp?

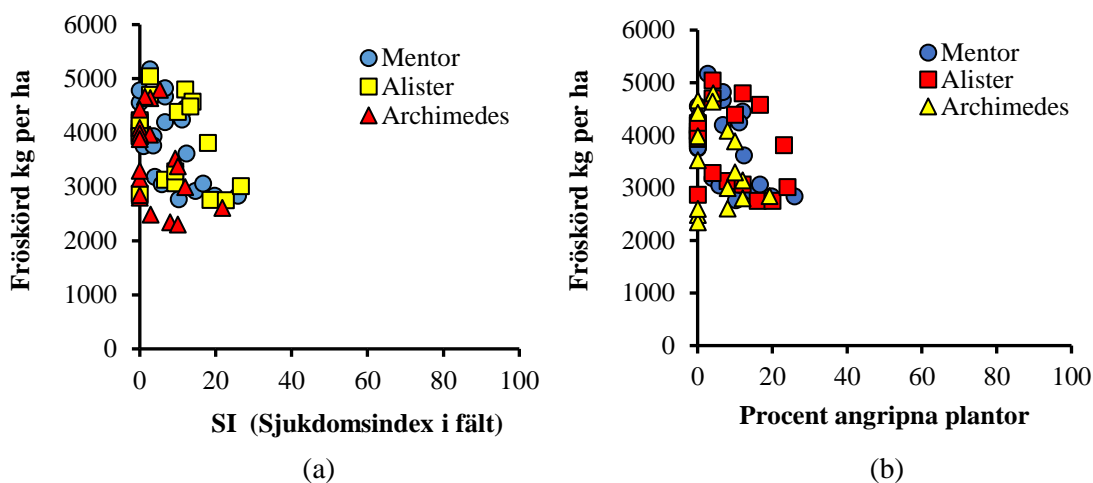
Inverkan av jordbunden smitta av *P. brassicae* på agronomisk prestanda hos höstrapsorter undersöktes i sju fältförsök som såddes 2017 och 2018. Fyra försök såddes 2017 på platser baserade på förtester av jordsmitta; i Simrishamn och Tomelilla med 1 100 000 respektive 2 500 000 genkopior per gram jord, Kumla med 15 000 genkopior per gram jord och ett fält i Hallsberg mycket låg mängd, 2 500 genkopior per gram jord. 2018 uteblev angrepp på försöksplatserna i Skåne trots mycket hög marksmitta p.g.a. torra förhållanden under hösten medan angrepp utvecklades på försöksplatsen i Kumla med en förtest på 50 000 genkopior per gram jord. Därav är det fem försök som utgör underlaget i Figur 1–4. Samband mellan sjukdomsindex (SI), procent angripna plantor och fröskörd för mottaglig sortblandning visas i Figur 1 a och b.



Figur 1. Samband mellan fröskörd och sjukdomsindex (SI) hos mottaglig sortblandning. Angreppets styrka av klumprotsjuka bestäms med SI. Ju högre index desto kraftigare angrepp. Redan vid ett index på 10 minskar skörden med 200 kilo per hektar i mottaglig sortblandning (a). Vid mycket kraftig infektion minskar skörden med 48 % motsvarande 2155 kilo per hektar. Förenklat uttrycks angreppet som procent angripna plantor (b). Fyra försöksplatser i Skåne och Närke skördade 2018 och Närke 2019.

Infekteras resistenta sorter?

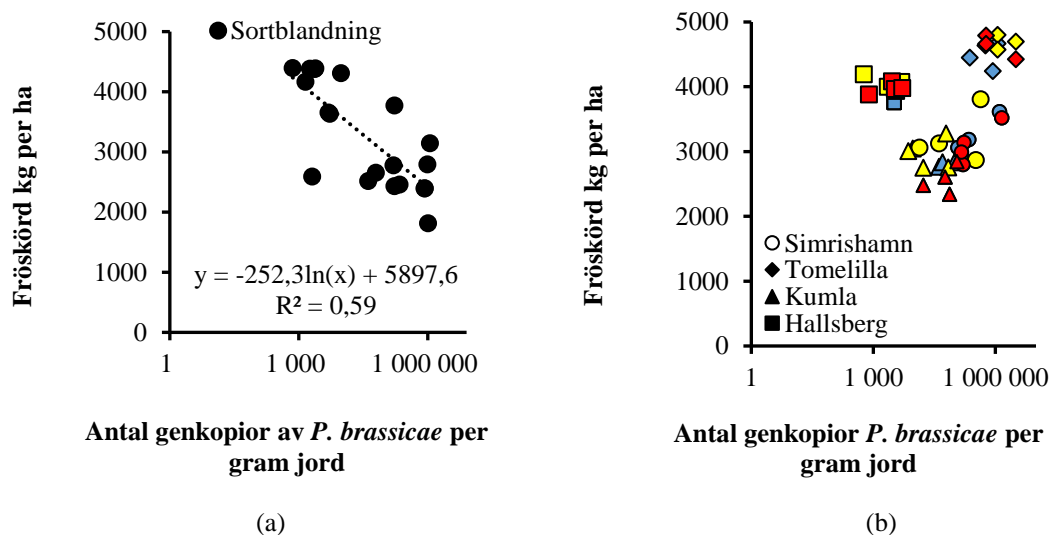
De tre klumprotresistenta (Kr) sorterna som testades presterade bäst på de två platser med de högsta nivåerna av inokulum med betydligt högre fröutbyte (kg per ha) än den mottagliga "sortblandningen" ($p < 0,001$ Figur 2 a och b). På fältförsöksplatsen i Kumla erhöles statistiskt signifikanta skillnader i fröutbyte endast mellan "sortblandning" Kr-sort Alister ($p=0,017$). Alla tre Kr-sorter på fältet med den lägsta smittonivån (Hallsberg), lämnade signifikant ($p < 0,001$) knappt 10 procent lägre fröutbyte än den mottagliga sortblandningen, vilket är i linje med tidigare undersökningar att Kr-sorter ger lägre skörd än en mottaglig sortblandning [8] på fält utan smitta.



Figur 2. Samband mellan SI i fält (a) procent angripna planter (b) och fröskörd (kg) ha⁻¹ för de resistenta sorterna Mentor, Alister och Archimedes på fyra försöksplatser i Skåne och Närke 2018 och en försöksplats i Närke 2019. Skörden av de resistenta sorterna Mentor, Alister och Archimedes påverkas av angreppets storlek, som samtidigt tangerar SI 30 där resistensen inte längre är hållbar.

Hur påverkas skörden av mängden patogen DNA? (Fröskörd vs genkopior)

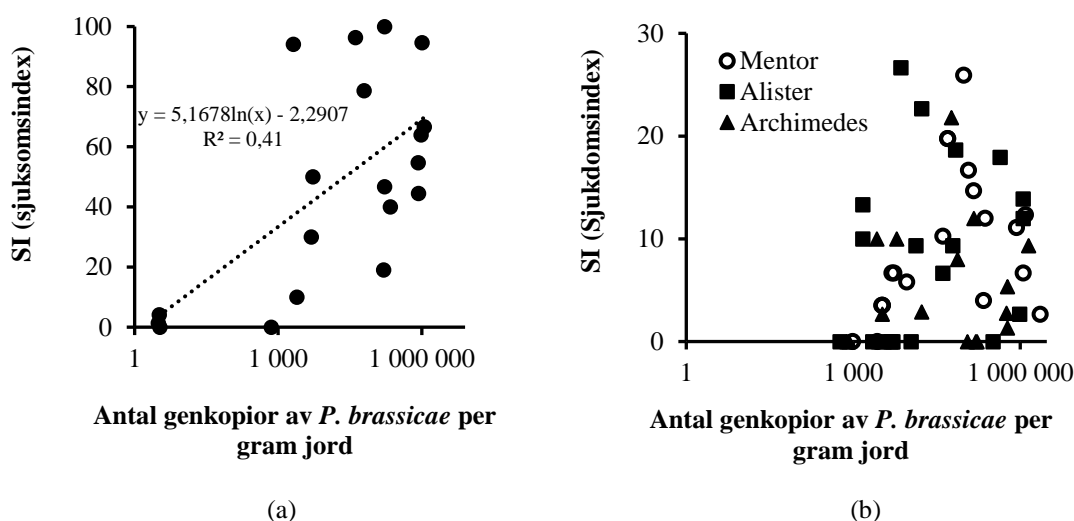
Sambandet mellan fröskörd på alla platser och mängden genkopior av *P. brassicae* per gram jord, visar att fröutbytet minskade snabbt när antalet genkopior per gram jord ökade över 4000 ($y = -52,3\ln(x) + 5897,6$; $R^2=0,59$, Figur 3a). Basnivån för infektion ligger på 1300 genkopior per gram jord enligt tidigare studier [5] och här visas hur snabbt skörden minskar när mängden inokulum ökar. Detta samband finns inte för Kr-resistenta sorter (Figur 3b).



Figur 3. Sambandet mellan genkopior per gram jord som bestäms med qPCR och skörd (kg, 9 procent vattenhalt) vid de fyra försöksplatserna (Tomelilla, Simrishamn, Kumla och Hallsberg) 2018: och Kumla 2019 a) resistenta sorter cv. Mentor (blå), cv. Alister (gul) och cv. Archimedes (röd). Logaritmerad skala på x-axeln. En tydlig påverkan på skörden visas redan vid 4000 genkopior per gram jord i mottaglig sortblandning.

Hur påverkas angreppet av mängden DNA?

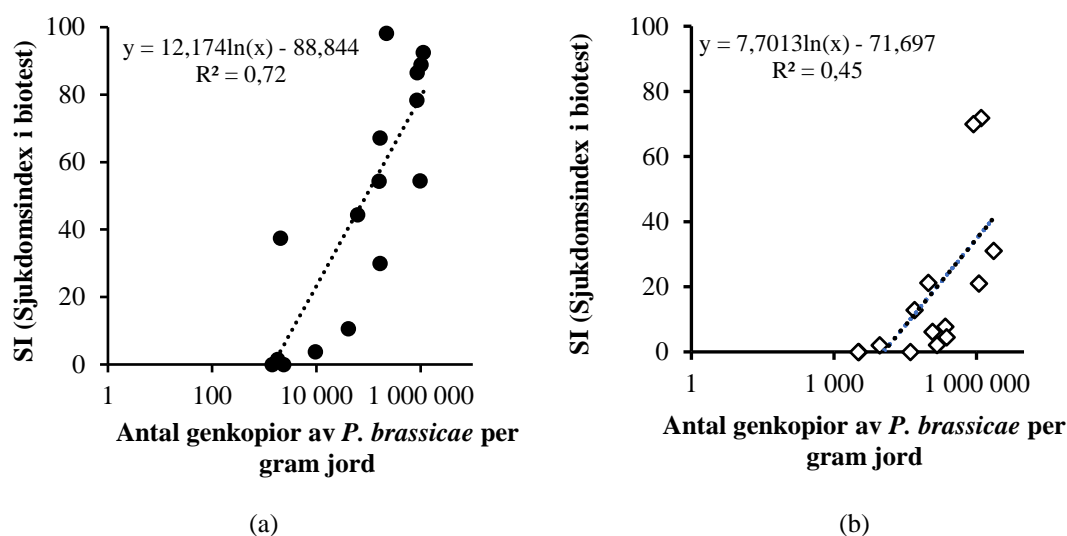
Det finns ett tydligt samband mellan mängd inokulum (genkopior per gram jord) och SI för mottaglig sortblandning ($y = 5,1678\ln(x) - 2,2907$; $R^2 = 0,41$, Figur 4a), och redan vid 1500 genkopior per gram jord ökar SI starkt till 35 och högre, vilket visar att vid låga nivåer kan angreppet slå till när för patogenen gynnsamma förhållanden råder. Det finns inget samband för resistenta sorter, men vi ser att rötterna infekteras vid en inokulum nivå på 150 genkopior per gram jord (Figur 4b), vilket bekräftar tidigare studier i Sverige att resistenta sorter angrips redan vid låga nivåer av inokulum [5]. De högsta nivåerna av SI tangerar 30, vilket är den gräns där resistensen anses bruten [17]. Resultaten visar tydligt att resistensens hållbarhet utmanas om resistenta sorter odlas på fält med stor mängd *P. Brassicae* DNA.



Figur 4. Samband mellan antal genkopior per gram jord (bestämd med qPCR) och sjukdomsindex i fältförsök (SI) för (a) mottaglig sortblandning och (b) resistenta sorterna Mentor, Alister och Archimedes för samtliga fältförsök sådda 2017 och Kumla 2018. Redan vid 1500 genkopior per gram jord ökar angreppet starkt i mottaglig sortblandning. Logaritmerad skala på x-axeln.

Vilken vägledning ger biotesterna?

Alla sorter i fältförsöken odlades också i biotester i en klimatkammare under kontrollerade förhållanden i syfte att undersöka den potentiella infektionen. Den mottagliga sortblandningen hade högt sjukdomsindex (Figur 5a). De Kr-resistenta sorterna Alister och Mentor (Figur 5b) hade sjukdomsindex över 60, vilket är över gränsen 30 där resistensen anses vara bruten [17]. Mängden DNA av *P. brassicae* i jorden bestämdes med qPCR-analys som utfördes rutvis ($n=16$) av jorden i samtliga fältförsök. År 2017 fanns det en statistiskt signifikant skillnad ($p < 0,001$) mellan försöksplatserna för antalet genkopior per gram jord. Antalet genkopior per gram jord var signifikant högst i Tomelilla (1 187 000) följt av Simrishamn (419 200) medan inga signifikanta skillnader fanns mellan platserna i Kumla och Hallberg (55 600 resp. 2800).



Figur 5. Samband mellan sjukdomsindex i biotest (SI) och mängden *P. brassicae* DNA (genkopior per gram jord) för (a) mottaglig sortblandning och (b) den resistenta sorten Mentor odlade i växtkammare. Logaritmerad skala på x-axeln. En hög korrelation visas för båda sorterna och det framgår att SI överstiger 30 som anses vara gränsen för resistensbrytning [17] vid höga nivåer av *P. brassicae* DNA. Fler figurer finns i publikationen [18]

AP3. Förutsättningar för oljerättika att integreras som fånggröda i en rapsväxtföljd

Detaljerad beskrivning finns i manuskript som skickas till EJPP

I klimatkamarstudien odlades mottaglig höstraps, Atora samt tre Kr höstrapsorter i en specialkomponerad jordblandning med naturlig smitta. Unikt med försöket är att 12 sorters oljerättika, en maträttika, vitsenap, två sorters rädisa och majrova samt svedjerova jämfördes. De två resistenta sorterna Alister och Archimedes angreps i lika stor omfattning med i genomsnitt SI 23 (Tabell 1), medan angreppet på sorten Mendel närmar sig mottaglig sort. Samtliga sorter av oljerättika infekterades på en lägre nivå med en variation på mellan SI 2,3 och 9,2. Det fanns ingen signifikant skillnad mellan sorterna. En maträttika, Runder Schwartzer, som testades var mest motståndskraftig med mycket låga angrepp, och kan vara av intresse för förädlingen. I botten hamnade vitsenap som är mycket mottaglig liksom majrova (SI 66 och 75) och svedjerova (SI 64). Rädisan intog en mellanställning (SI 18 och 12).

Tabell 1. Sjukdomsindex (SI) av mottaglig (MO) och klumprotresistent (Kr) höstraps, 12 sorter av oljerättika, maträttika och vitsenap. Olika bokstäver visar signifikant skillnad enligt Tukey's HSD-test.

Gröda	Sjukdomsindex	Gröda	Sjukdomsindex
<i>Höstraps</i>		<i>Oljerättika</i>	
Alister (Kr)	21,6 cd	n=12	2,3 - 9,2 cd
Archimedes (Kr)	26,0 bc	<i>Rättika</i>	
Mendel (Kr)	45,0 b	Runder Schwartzer	0,33 d
Atora (Mo)	69,3 a	<i>Vitsenap</i>	76,4 a
	p <0,001		p <0,001

AP 4. Strategi för att odla höstraps på fält med förekomst av *P. brassicae*

Detaljerad beskrivning kommer i internationell sampublication som planeras

Vi har visat att i jord med höga nivåer av *P. brassicae* DNA är selektionstrycket betydligt högre, d.v.s. resistensen bryts snabbare än om resistent sorter odlas i jord med låg nivå av *P. brassicae* DNA, vilket bekräftar hypotes 1. Resistensen hos att sorterna Mentor och Alister är under press, och vår rekommendation är att använda resistent sorter när inokulum nivån inte överstiger 100 000 genkopior per gram jord, vilket betyder en minskning från tidigare rekommendation på 325 000 genkopior per gram jord. Vidare betyder odling av resistent sort fortsatt uppförökning av *P. brassicae*. Patotyptestning utförd i **Arbetspaket 2** från försöksplatserna 2017 visar tre olika patotyper; 16/23/29, 16/23/28 och 16/31/31, för Bollerup, Kumla och Simrishamn. Reaktionen hos sorten Mendel visar SI 47 i Simrishamn, 22 i Bollerup och 8 i Kumla, vilket visar att resistensen hos Mendel är bruten i Simrishamnsfältet i enlighet med hypotes 2 att virulenta patotyper som bryter resistens finns i odlingsdistrikten.

Sjukdomsutvecklingen av klumprotsjuka påverkas starkt av miljöfaktorer, där innehållet av fritt markvatten har störst betydelse för vilsporernas groning och förflyttning till värdväxtens rötter. Trots en mycket hög förekomst av *P. brassicae* DNA i Simrishamn och Tomelilla 2018 (600 000 respektive 370 000 genkopior gram jord) saknades sjukdomssymptom under hösten 2018 som följd av den torra sommaren och lite nederbörd under hösten. För att säkerställa en långsiktigt hållbar höstrapsproduktion krävs en omfattande provtagning av potentiella rapsfält. När *P. Brassicae* finns i jorden är den svår att bli av med. Tillgång till resistent sorter ger bra kontroll av klumprotsjuka på fält med kontrollerat låg smitta. Internationellt har resistensen snabbt brutits när raps odlats med korta intervaller i jord med hög smitta [7,11]. Reaktionen hos de resistent sorterna utgör basen för de nya förenklade riktlinjerna vi föreslår för den bästa långsiktiga kontrollstrategin av klumprotsjuka. Nya resistent sorter har högre avkastningspotential är de vi har undersökt [19], och är en stor tillgång för branschen. Odlarna behöver vara mer proaktiva och använda DNA-analysen i större omfattning för att undvika utbrott på fält som odlas med mottagliga sorter förlust av väderfullt frö. Att odla oljerättika i en rapsväxtföljd med dagens sortiment innebär risk för uppförökning av *P. Brassicae* och en utmaning av framtida rapsodlingar. Här behövs ytterligare förbättrad resistens hos oljerättika och förädlingsarbete pågår i Tyskland [20]. Vi har bekräftat att oljerättika har en hög grad av resistens mot *P. brassicae* men det finns variationer mellan sorter som dock inte var signifikanta, vilket motsäger vårt ena antagande i hypotes 3. Oljerättika som fånggröda kommer att öka förekomsten av *P. brassicae* om inkluderad i en rapsväxtföljd vilket bekräftar hypotes 3.

Slutsatser

- Skördeförlusterna blir snabbt kännbara i mottagliga sorter. Redan vid sjukdomsindex 10 minskar skörden med 200 kilo per hektar
- Testa alltid rapsfältet och välj klumprotresistent sort om antalet genkopior av *P. brassicae* DNA per gram jord överstiger 1300
- Ny rekommendation för maximal nivå för odling av resistent sort är 100 000 genkopior per gram jord för att säkerställa långsiktig uthållighet
- Angreppet av klumprotsjuka i resistent sorter ökar med ökande mängd *P. brassicae* DNA, och närmar sig den gräns där resistensen anses vara bruten
- Resistent sorter kan ge full skörd vid mycket höga nivåer av *P. brassicae* DNA (<1 000 000 genkopior per gram jord) men uppförökar smittan starkt

- Odling i klimatkammare under optimala förhållanden visar att resistensen hos sorterna Mendel och Alister är ofullständig och bryts vid för patogenen gynnsamma förhållanden och höga förekomster av *P. brassicae*.
- Oljerättika angrips av klumprotsjuka, men på en lägre nivå är resistent höstraps.
- Oljerättika bör inte inkluderas i en rapsväxtföljd
- Tre olika patotyper av *P. Brassicae* har identifierats i försöksfälten
- Patotyper som bryter resistensen har identifierats i flera försöksfält i Skåne
- Kontrollera alltid stausen på rapsrötterna på senhösten

Nytta för näringen och rekommendationer

Hela rapporten är en vägledning för odlingsstrategier baserade på analysvar och är riktad till rådgivare, lantbrukare och handel. Vi har i utvecklat DNA-analysmetoden i Sverige, som spridits till andra länder i takt med att laboratorier är internationella där också våra anvisningar används. För att tillämpa de nya riktlinjerna krävs att jorden först analyseras.

Vi har för första gången fastställt det ekonomiska värdet av ett angrepp i höstraps i Sverige, och redan vid 10 procent angrepp blir förlusten 1000 kronor per hektar. Kraftiga angrepp på hösten kan leda till totalskada efter vintern. Med ökade kunskaper om när rätt sort skall användas kan förlusterna minskas betydligt. Vi behöver mer kunskap om vinterhärdigheten hos de resistent sorterna i Mellansverige och rekommenderar att vinterhärdigheten bedöms årligen av aktuella marknadssorter. Systematisk övervakning av resistensens stabilitet och en bestämning av förekommande patotyper i odlingsdistrikten rekommenderas för att öka denna kunskap och bättre kunna anpassa sortvalet den integrerad bekämpningen.

Spridningen av klumprotsjuka tilltar i höstrapsen vilket gör det olämpligt att förlänga odlingssäsongen med grödor som oljerättika. Det finns ett stort intresse för att odla oljerättika som mellangröda, men det är komplext att odla två korsblommiga grödor i samma växtföljd och ska undvikas.

Stort fokus har lagts på informationsspridning i projektet genom medverkan i nationella och internationella konferenser, kurser och informationsmöten och genom publicering i lantbrukspressen med tre artiklar 2021. Informationen måste intensifieras ytterligare så att fler odlare analyserar jorden innan sådd. Varje infekterat fält är ett misslyckande. Det internationella samarbetet i International Clubroot Working Group är ett viktigt nätverk för informationsutbyte och utveckling.

Referenser

1. Wallenhammar, A.-C. Almquist, C. Schwelm, A. Roos, J., Marcez-Schmidt, K., Jonsson, A., Dixelius, C. 2014. Clubroot, a persistent threat to Swedish oil seed rape production. *Can. J. Plant Pathol.* 36 (S1), 135–141, DOI:10-1080/07060661.2013.870606
2. Zheng, X., Koopman, B., Ulber, B., von Tiderman, A. 2020. A Global Survey on Diseases and Pests in Oilseed Rape- Current Challenges and Innovative Strategies of Control. *Frontiers in Agronomy* 2, 21–15, DOI: 10.3389/fgro.2020.590908
3. Dixon, G.R. 2009. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. *J. Plant Growth Regul.* 28, 194–202

4. 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 Pathol.* 45, 710–719.
5. Wallenhammar, A.-C., Johnsson, L., Gerhardson, B. 2000. Agronomic performance of partly clubroot-resistant spring oilseed turnip rape. *J. Phytopathol.* 148, 495–499. (Finansierad av SLF)
6. Hwang, S.F., Howard, R.J., Strelkow, S.E., Gossen, B.D., Peng, G. 2014. Management of clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) on canola (*Brassica napus*) in western Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 36, 49–65. Doi:10.1080/07060661.2013.863806
7. Strelkov, S.E., Hwang, S-F., Manolii, V. P., Cao, T., Feindel, D. 2016. Emergence of new virulence phenotypes of *Plasmodiophora brassicae* on canola (*Brassica napus*). *Eur. J. Plant Pathol.* 145, 517–529, DOI 10.1007/s10658-016-0888-8
8. Gunnarsson, A. 2015. Höstrapsorter med klumprotresistens. Field Trial Report of central Sweden. Rural Economy and Agricultural Society Skaraborg: Falköping, 155–156.
9. Diederichsen, E., Beckmann, J., Schondelmeier, J., Dreyer, F. 2006. Genetics of Clubroot Resistance in *Brassica napus* 'Mendel.' *Acta Horticulturae*, 307–311, doi:10.17660/ActaHortic.2006.706.35.
10. Zamani-Noor, N. 2017. Variation in pathotypes and virulence of *Plasmodiophora brassicae* populations in Germany. *Plant Pathol.* 66, 316–324.
11. Smith, J., Boor, T., Dussart, F., Burnett, F. 2021. *Plasmodiophora brassicae* diversity in the UK and implications for clubroot management. Management of Diseases and Pests of Oilseed rape. Eds, Jellis och Fill. Agrifood Charities Partnership & University of Herfordshire. 75–82.
12. Wallenhammar, A.-C., Hansson, F., Gunnarsson, A., Jonsson, A. 2016. Quantification of *Plasmodiophora brassicae* Using a DNA-Based Soil Test Facilitates Sustainable Oilseed Rape Production. *Plants.* 5, 21, DOI:10.3390/plants.5020021. (Finansierad av SLF)
13. Jonsson, A., Wallenhammar, A.-C. 2014.Handledning för provtagning och hantering av jordprov vid biologisk markkartering av jordbundna patogener (www.biosom.se) Rapport nr 1. P10.
14. 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. <https://doi.org/10.3390/pathogens10040433>. (Finansierad av SLF)
15. Person, P. 2022. Klumprotsjuka i höstraps-utvärdering av resistent sorter i fältförsök OS7-25. Studentarbete Grundnivå G2E. Uppsala: SLU, Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi.
16. Wallenhammar, A.-C., Almquist, C., Söderström, M., Jonsson, 2012. A. In-field distribution of *Plasmodiophora brassicae* measured using quantitative real-time PCR. *Plant Pathol.* 61, 16–28, DOI:10.1111/j.1365-3059.2011.02477x. (Finansierad av SLF)
17. Diederichsen, E., Wagenblatt, B., Schallehn, V. 2016. Production of pure genotype isolates of *Plasmodiophora brassicae* Wor. - comparison of inoculations with root hairs containing single sporangiosori or with single resting spores. *Eur. J. Plant Pathol.* 145, 621–627, DOI: 10.1007/s10658-016-0876-z
18. 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, 433. <https://doi.org/10.3390/pathogens10040433>
19. Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare. <https://sfo.se/oljevaxter/forsok/>. Sortförsök höstraps OS7-25-2021.
20. Diederichsen, E., Gollinge, N. & Schlathölter, M. 2018. Characterization of clubroot resistance in *Raphanus*. In: 2018 International Clubroot Workshop, Edmonton, Alberta, Canada, Canadian Journal of Plant Pathology, 41:3, 477–478. DOI: 10.1080/07060661.2019.1583478

Del 3: Resultatförmedling

Vetenskapliga publiceringar	Wallenhammar, A-C, Omer, Z., S, Edin, E., Jonsson, A. 2021 Influence of Soil-Borne Inoculum of <i>Plasmodiophora brassicae</i> Measured by qPCR on Disease severity of Clubroot Resistant Cultivars of Winter Oilseed Rape (<i>Brassica Napus</i> L). <i>Pathogens</i> , 10, 433. https://doi.org/10.3390/pathogens10040433
	Wallenhammar, A-C, Omer, Z. Jonsson, A. 2019. Integrated management of clubroot – crucial for a sustainable oilseed rape production. <i>Can J of Plant Pathol</i> , 41, 490. https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/07060661.2019.1583478 Abstract
	Zamani-Noor, N., Diederichsen, E., Wallenhammar, A.-C. , Cordsen-Nielsen, G., Orgeur, G., Konradyova, V., Dussart, F., Smith, J., Jedryczka, M. 2019. Epidemiology of Clubroot Disease and Pathogenic Variation among Isolates of <i>Plasmodiophora brassicae</i> from Oilseed Rape Growing in Europe. <i>Can. J. Plant Pathol.</i> 2019, 41, 491–492, doi:10.1080/07060661.2019.1583478. Abstract
	Wallenhammar, A-C, Edin, E., Jonsson, A. 2022. Can Oil Radish (<i>Raphanus sativus</i> L. var <i>oleifera</i>), be incorporated in an OSR crop rotation with respect to clubroot propagation? Manuskript, planerad publicering i <i>European Journal of Plant Pathology</i> , mars 2022
Övriga publiceringar	Wallenhammar, A-C., Nätterlund, H. 2021. Svårlöst konflikt mellan oljerättika och höstraps, <i>Arvensis</i> , 6, 22 - 24.
	Wallenhammar, A-C., Jonsson, A. Svanström, P. 2021. Rapspriset lockar till ökade arealer, <i>Arvensis</i> , 4, 8–10.
	Wallenhammar, A-C, Omer, Z., Edin, E, Jonsson, A. 2021. Var aktiv mot protisten- testa ditt rapsfält för klumprotsjuka. <i>Svensk Frötidning</i> , 4, 15 - 17
	Wallenhammar, A-C., Edin, E., Jonsson, A. 2020. Oljerättika och klumprotsjuka, Växjö möte 8 december 2020.
Muntlig kommunikation	Integrated management of clubroot in WOSR based on soil DNA analyses. Digital konferens 23-25 november 2021. Australasian Plant Pathology Society. A-C Wallenhammar https://www.appsnet.org/events/Hobart2021/Handbook.pdf
	Sweden Clubroot Update. Digitalt möte. Clubroot Steering Committee, Canada 30 april 2020, A-C Wallenhammar
	Pathogens. Workshop on Diversifying the cropping systems using subsidiary crops. SLU, Alnarp, 3 mars 2020. A-C Wallenhammar
	Integrated management of clubroot, International Rapeseed Congress, Berlin, 16-19 juni 2019, A-C Wallenhammar
	Klumprot i korsblomstra vekster. Hva med jordforbedrende vekster? Plantekonferensen, 14 -1 5 februari 2019, Oslo, A-C Wallenhammar

	Integrated management of clubroot, International clubroot working group, 7-9 August 2018, Edmonton, Kanada, A-C Wallenhammar
	Integrated management of clubroot, IOBC, 18-19 september 2018 Zagreb, Kroatien, A-C Wallenhammar
	Epidemiology, overview and the occurrence and distribution of the pathogen and related damage in Sweden 2017, Clubroot workshop, Berlin, UPOF, 15-16 januari, 2018, A-C Wallenhammar
	Klumprotsjuka, Information för rådgivare vid HS Konsult AB, 23 september 2021. A-C Wallenhammar
	Oljerättika och klumprotsjuka, Växjömöte (Digital) 8 - 9 december 2020, A-C Wallenhammar
	Oljerättika och klumprotsjuka, Skånska Jordbrukardagar (digitalt) 18 januari 2021, A-C Wallenhammar
	Sjukdomar i raps. HIR-konferensen (digital) 3 oktober 2020. A-C Wallenhammar
	Hur undvika klumprotsjuka? Kurs i Ekologisk rapsodling (rådgivare och lantbrukare), Jordbruksverket (digitalt) 16 april 2020. A-C Wallenhammar
	Mellangrödor- egenskaper för odlingen som biosanerare. Kurs(lantbrukare) Jordhälsa i ekologisk odling, Hushållningssällskapet, Skara, 3 december 2019, A-C Wallenhammar
	Hur hanterar vi växtskyddsfrågorna i mellangrödesystem. Hallfredadagen, Hallfreda, SLU, 9 juli 2019 A-C Wallenhammar
	Hur hanterar vi växtskyddsfrågorna i mellangrödesystem. Ämnesgrupp Vatten och odlingssystem, SLU, Nässjö, 2 maj 2019. A-C Wallenhammar
	Mellangrödor i växtföljden- Kursdag mellangrödor för lantbrukare, Hushållningssällskapet, Brunnby, Västerås, 13 februari 2019. A-C Wallenhammar
	Mellangrödor i växtföljden-växtskyddsperspektiv, FoU-dagar ekologisk produktion, Jordbruksverket, Uppsala, 6-7 februari 2019. A-C Wallenhammar
	Klumprotsjuka- spridningsrisker med mellangrödor och ogräs. Uddevalla konferensen, 10 - 11 januari 2019. A-C Wallenhammar
	Integrerad bekämpning av klumprotsjuka Nationella Växtskyddskonferensen, Uppsala, 14 - 15 november 2018. A-C Wallenhammar
	Integrerad bekämpning av klumprotsjuka- avgörande för en uthållig produktion. Ämnesgrupp ogräs och växtskydd, Linköping, 8 februari 2017, A-C Wallenhammar
Studentarbete	Cederberg, G. 2018. <i>Utbredning av Plasmodiophora brassicae som orsakar klumprotsjuka</i> . Grundnivå, G2E. Uppsala: SLU, Institutionen för mark och miljö. https://stud.epsilon.slu.se/13215/1/cederberg_g_180322.pdf A-C Wallenhammar , biträdande handledare

	Persson, P. 2022. Klumprotsjuka i höstraps-utvärdering av resistent sorter i fältförsök OS7-25. Grundnivå G2E. Uppsala: SLU, Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi. Arbetet väntar på godkännande av examinator. A-C Wallenhammar , biträdande handledare
Övrigt	Guest editor special edition on clubroot, Pathogens 2020-2021, A-C Wallenhammar
	Ellström, A. 2022. Oljerättika både vän och fiende för växtskyddet. Tema mellangrödor, Land Lantbruk, 8, 8. Telefonintervju med A-C Wallenhammar .
	Wennström, H. 2018. Klumprotsjuka. Gröna affärer (Hushållningssällskapetets tidskrift. Reportage med bilder i fält)
	Integrated management of clubroot, International Congress of Plant Pathology (ICPP), Boston, 28 juli-4 augusti 2018. Poster presentation. A-C Wallenhammar initiativ till och ledde ett diskussionscafé om klumprotsjuka med ca 20 deltagare.
	Arrangerat studieresa för en delegation från Canola Council, Alberta, Kanada 11 maj 2017 med tema "Hur hanterar vi klumportsjuka i fält". Två gårdsbesök i södra och mellersta Skåne, i anslutning till Technical meeting of GCIRC, Alnarp. A-C Wallenhammar