Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

SLU Partnerskap Alnarp

SLUTREDOVISNING 2026-11-02



SLU Partnerskap Alnarps projekt nr: PA 1666

Projekttitel på svenska enligt projektansökan: Hållbart växtskydd hos potatis: Test av fungicidtolerans hos potatispatogenen *Alternaria solani*

Projekttitel på engelska enligt projektansökan: Sustainable plant protection in potato: Monitoring fungicide tolerance in the potato pathogen *Alternaria solani*

Projektledare: Åsa Lankinen

Författare till rapporten: Åsa Lankinen och Chiara De Pasqual

Fakultet: LTV-fakulteten

Institution: Växtskyddsbiologi

Projekttid: Oktober 2025 - oktober 2026

Projektpartners: Lyckeby Group ek. för., Jordbruksverket

Projektsammanfattning

Potatis är en viktig gröda i Sverige och i resten av världen både som föda och inom industrin. Den drabbas av flera allvarliga sjukdomar. Torrfläcksjuka kan orsaka upp till 30% skördeförluster och dess förekomst ökar i Sverige och i andra delar av Europa. Ökningen tros bero på återkommande utveckling av fungicidtolerans hos patogenen *Alternaria solani* och även att de pågående klimatförändringarna gynnar patogenen. Integrerat växtskydd (IPM) är ett viktigt verktyg för att reducera användningen av fungicider, men idag är IPM inte fullt utvecklat för att ta hänsyn till fungicidtolerens. Fungicider som är godkända för användning mot torrfläcksjuka kan delas in i tre olika klasser, som har olika sorters verksamma substanser; strobiluriner (Qol-fungicider), succinatdehydrogenashämmare (SDHI-fungicider) och demetyleringshämmare (DMI-fungicider). Reducerad känslighet mot de två förstnämnda fungicidklasserna har utvecklats upprepade gånger under de senaste 15 åren. DMI-fungiciderna verkar vara mer stabila, men nyligen såg man tecken på reducerad känslighet i labstudier av isolat från Tyskland och Holland. Under sommaren 2025 noterades försämrad känslighet mot en DMI-fungicid (Revyona) i fältförsök i Skåne. I detta projekt har vi studerat känsligheten för Revyonas aktiva substans mefentriflukonazol i laboratoriet hos isolat insamlade från både fältförsök och odlare i Skåne. Vi fann starkt minskad känslighet för mefentriflukonazol, där muterade isolat krävde cirka 350 respektive sex gånger högre koncentrationer för att hämma myceltillväxt respektive sporgroning. Vi kunde också se att mutationen som ger upphov till minskad känslighet kom till Skåne 2024 och idag finns i över 90% av de undersökta isolaten. Våra resultat indikerar att Revyona bör användas med försiktighet för behandling av torrfläcksjuka i Skåne.

Abstract

Potato is an important crop in Sweden and globally, serving both as a food source and as an industrial raw material. Potato is susceptible to several serious diseases. Early blight can cause yield losses of up to 30%, and its prevalence is increasing in Sweden and other parts of Europe. This rise is believed to be driven by the recurring development of fungicide tolerance in the pathogen *Alternaria solani*, as well as by ongoing climate change that favours the pathogen. Integrated Pest Management (IPM) is a key tool for reducing fungicide use; however, current IPM strategies are not yet fully developed to account for fungicide tolerance. Fungicides approved for the control of early blight fall into three distinct classes, each with different active substances: strobilurins (QoI fungicides), succinate dehydrogenase inhibitors (SDHI fungicides), and demethylation inhibitors (DMI fungicides). Reduced sensitivity to the first two classes has emerged repeatedly over the last 15 years. While DMI fungicides appear more stable, recent laboratory studies of isolates from Germany and the Netherlands have shown signs of reduced sensitivity. During the summer of 2025, diminished sensitivity to a DMI fungicide (Revyona) was observed in field trials in Skåne. In this project, we have examined the sensitivity to mefentrifluconazole - the active substance in Revyona - using isolates collected from both field trials and commercial growers in Skåne. We found a marked reduction in sensitivity to mefentrifluconazole, with mutated isolates required approximately 350 times higher concentrations to inhibit mycelial growth, and six times higher concentrations to inhibit spore germination. We also observed that the mutation that confers reduced sensitivity arrived in Skåne in 2024 and is now present in over 90% of the isolates examined. Our results indicate that Revyona should be used with caution for the treatment of early blight in Skåne.

Bakgrund

Idag orsakar växtsjukdomar stora skördeförluster över hela världen (Savary m fl. 2019), vilket leder till ekonomiska förluster för odlare, brist på mat och på råvaror i industrin. För att hålla växtsjukdomar i schack används stora mängder av kemiska bekämpningsmedel, fungicider, vilka är skadliga för både människor och miljön. För att hålla nere användningen av fungicider kan man tillämpa integrerat växtskydd (IPM, integrated pest management). IPM är ett förhållningssätt som går ut på att främst använda sig av icke-kemiska bekämpningsmetoder först och sen som en sista utväg ta till kemiska medel (Barzman m fl. 2015). Enligt EU-lagstiftningen måste IPM tillämpas för alla som använder växtskyddsmedel yrkesmässigt inom EU (EU-direktiv 2009/128/EC). För att IPM ska fungera bra krävs att man har tillgång till kemiska bekämpningsmedel som är verksamma. Den snabba anpassningsförmågan hos patogener kan dock leda till evolution av tolerans mot fungicider. IPM är idag inte bra anpassad för att ta hänsyn till tolerans mot fungicider när man designar sin bekämpningsstrategi (Karlsson Green m fl. 2020), då det krävs att det finns resistensstrategier att luta sig mot.

Potatis är den tredje viktigaste grödan i Sverige och används både som föda och i industrin, tex för att producera stärkelse. Potatis är också den mest besprutade grödan i Sverige (SCB 2022) pga flera allvarliga växtsjukdomar där potatisbladmögel är den värsta. Torrfläcksjuka, som orsakas av svampen *Alternaria solani*, kan ge upp till 30% skördeförluster, speciellt i sena sorter som stärkelsepotatis (Liljeroth m fl. 2025). Torrfläcksjuka har ökat under de senaste åren i Sverige och andra delar av Europa. Ökningen tros delvis bero på att svampen gynnas av ett varmare klimat (Kapsa 2008) men också att den upprepade gånger har utvecklat tolerans mot fungicider under de senaste 15 åren (Edin m fl. 2019; Einspanier m fl. 2022). Detta är allvarligt eftersom det begränsar tillgången på effektiva fungicider. Trots att man har börjat utveckla mer hållbara växtskyddsmetoder hos potatis (Stridh m fl. 2022, 2024), så är tillgången på kemiska medel fortfarande avgörande inom potatisodlingen, där en kombination av ett flertal medel är att föredra för att minska risken för evolution av fungicidtolerans (Sparks and Nauen 2015; Frac 2025).

Moderna fungicider är vanligtvis specifika och riktar in sig mot någon enstaka gen. Även om detta gör dem mycket effektiva vid låga doser, leder det också till att patogener snabbt kan anpassa sig och utveckla tolerans jämfört med situationen för äldre bredspektrumsfungicider (Lukas m fl. 2015). Eftersom fungicidtolerens kan uppstå både plötsligt eller byggas upp gradvis över tid är kontinuerliga tester och övervakning av fungiciders effektivitet viktiga. För att bekämpa torrfläcksjuka kan man idag använda fungicider med tre olika klasser av verksamma ämnen; strobiluriner (Qol-fungicider), succinatdehydrogenashämmare (SDHI-fungicider) och demetyleringshämmare (DMI-fungicider) (Einspanier m fl. 2022). Utveckling av tolerans har främst skett mot Qol- och SDHI-fungicider och svenska *A. solani* populationer bär idag på mutationer mot dessa fungicider (Edin m fl. 2019; Mostafanezhad m fl. 2022). Eftersom mutationerna oftast inte innebär några negativa konsekvenser för patogenen (Yang m fl. 201), så kommer mutationerna troligtvis fortsätta vara kvar även om man slutar använda dessa fungicider. Den tredje klassen av fungicider, DMI, verkar vara mer robust. Man har dock nyligen hittat dubbelmutationen CYP51, som ger minskad känslighet mot DMI-fungicider, i labstudier hos isolat från bla Tyskland och Holland, men inte i isolat från Sverige (Schroeder m fl. 2025). Däremot finns det begränsad kunskap om sådan tolerans kan uppkomma under fältbetingelser. Under sommaren 2025 kom oroväckande

resultat från fältförsök i Skåne, där man fick indikationer på att en av de nyaste fungiciderna (DMI-fungiciden Revyona) verkade ha tappat i fälteffektivitet (Andersson m fl. 2026). Det är av yttersta vikt att fastställa förekomst av fungicidtolerens mot Revyona, så att svenska potatisodlare kan planera en effektiv bekämpningsstrategi. I ljuset av att flera bekämpningsmedel kan komma att förbjudas pga innehåll av PFAS, är det också viktigt med en ökad förståelse av utveckling av fungicidtolerens och hur vi kan förbättra IPM och minska fungicidberoendet inom potatisodling.

Syfte

Projektets syfte var att följa upp observationerna om misstänkt fungicidtolerens hos *A. solani* mot DMI-fungiciden Revyona, som hade noterats i fältförsök i Skåne under sommaren 2025. Genom labtestning av effektiviteten av denna fungicid, så var vårt mål att kunna bidra till kunskap om denna fungicid borde användas eller ej under odlingsåret 2026. Eftersom DMI-fungicider utgör den sista verksamma klassen av fungicider mot torrfläcksjuka, är ett mer allmänt mål att få en ökad förståelse för utveckling av fungicidtolerens hos *A. solani*, för att i framtiden kunna utveckla mer hållbara växtskyddsstrategier.

Metod

Vi testade effektiviteten av det verksamma ämnet (mefentrifluconazol) hos DMI-fungiciden Revyona mot *A. solani* i laboratoriet. Vi undersökte dels myceltillväxt och sporulering i olika koncentrationer av det aktiva ämnet, och dels förekomst av mutationen CYP51. Vår hypotes var att den observerade lägre fälteffektiviteten beror på fungicidtolerans som återspeglas av en hög groningsprocent hos både mycel och sporer i höga koncentrationer av det verksamma ämnet samt förekomst av mutationer.

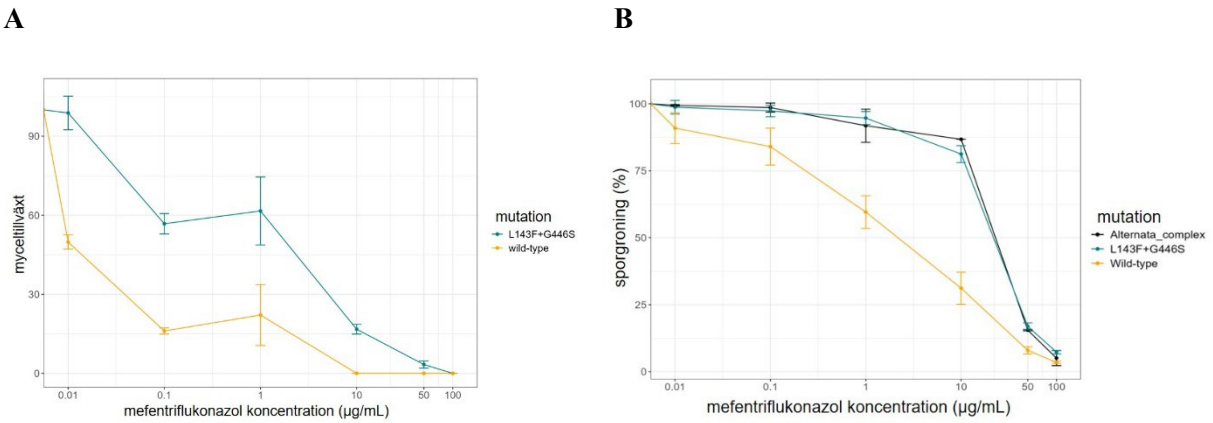
Vi testade isolat av *A. solani* som samlades in från potatisblad från fältförsök med stärkelsepotatis (kontrollbehandling och fungicidbehandling med Revyona) på två platser (Mosslunda och Köpinge hus, Vista) under 2025. Stärkelsepotatis är extra känslig för torrfläcksjuka pga sin längre odlingssäsong jämfört med matpotatis. För att även göra en bedömning av toleransläget hos odlare, så undersökte vi även *A. solani* insamlad från 15 stärkelsepotatisodlare under 2025.

A. solani isolerades från de insamlade potatisbladen genom ett välbeprövat protokoll som består av en serie omodlingssteg för att odla fram isolat med ursprung från en enda spor. I nästa steg utfördes molekylär validering av *A. solani* hos isolaten genom DNA extraktion och kvantitativ PCR (qPCR) (enligt Kumar m fl. 2013 men med egenutvecklade primers, De Pasqual m fl. opubl). För att testa *A. solani*'s känslighet för mefentrifluconazol odlades isolaten i laboratoriet och sporulering initieras med hjälp av UV ljus. Myceltillväxt och sporulering bedömdes sedan i olika koncentrationer av mefentrifluconazol; 0 (kontroll), 0.01, 0.1, 1, 10, 50, 100 µg/mL.

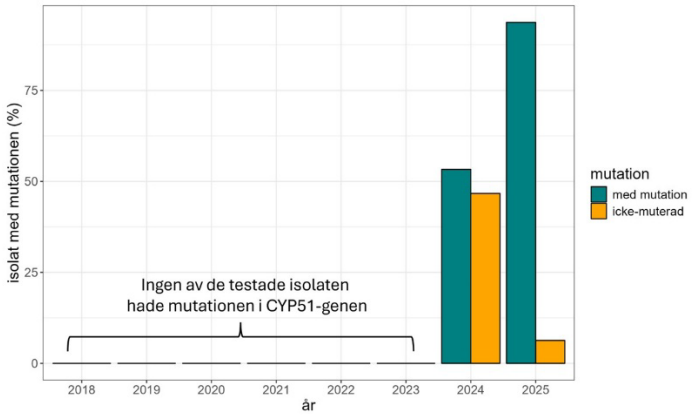
För att identifiera förekomst av mutationer hos den gen, vars genprodukt fungiciden angriper (CYP51), uppförökade vi CYP51 genom PCR enligt protokoll från Schroeder m fl. (2025) och skickade sen PCR produkten för Sanger sekvensering. Vi kompletterade isolat från 2025 med studier av isolat insamlade årligen sedan 2018 för att få en bild av när mutationen kom till svenska populationer.

Resultat och diskussion

Våra analyser för att testa mefentriflukonazols effektivitet hos *A. solani* indikerade en betydande minskning av känsligheten: isolat som bar mutationer i CYP51-genen krävde ungefär sex gånger högre mefentriflukonazol-koncentrationer för att hämma 50 % av sporgroningen (Fig. 1A) och ungefär 350 gånger högre koncentrationer för att hämma 50 % av myceltillväxten (Fig. 1B) jämfört med vildtyper. I två isolat visade det sig vara andra *Alternaria* arter (troligtvis *A. alternata*), som man vet förekommer tillsammans med *A. solani*. Även dessa isolat hade försämrad känslighet för mefentriflukonazol. Våra resultat är i linje med den minskade känsligheten för Revyona som har noterats i fältförsök.



Figur 1. Dos–respons-samband för hämning av (A) myceltillväxt och (B) sporgroning i olika koncentrationer av mefentriflukonazol, där isolat som bär på CYP51-mutationer jämförs med vildtypsisolat av A. solani (utan CYP51-mutationer). I (B) jämför vi också två isolat som tillhör artkomplexet Alternaria..



Figur 2. Frekvensen av A. solani isolat med (grön stapel) eller utan (orange stapel) CYP51 mutationen i isolat undersökta från 2018 till 2025 i fältförsök med stärkelsepotatis i Skåne.

Vi hittade dubbelmutationen som är associerad med förlust av känslighet för mefentriflukonazol (CYP51) i 94% av de sekvenserade isolaten från 2025 i fältförsök (Fig. 2). Hos de undersökta gårdarna hade de flesta också mutationen (86%). Detta visar att mutationen är spridd i Skåne. Genom att testa tidigare insamlade isolat från liknande fältförsök från 2018 kunde vi se att mutationens

första förekomst är från 2024, då den fanns i ca 50% av isolaten (Fig. 2). Revyona introducerades i dessa fältförsök från 2019, så vi kan se att *A. solani* evolverade tolerans på endast några år. Mutationen fanns inte heller i de sex isolat som testades av Schroeder m fl. (2025) och samlades in tidigare än 2024.

För rådgivare och odlare är det av yttersta vikt att förstå resistensläget hos *A. solani* för att kunna planera lämpliga växtskyddsstrategier. Att använda ineffektiva bekämpningsmedel är kostsamt för odlare, en onödig miljörisk och ökar risken för ytterligare resistensutveckling. Kombinationen av en minskad känslighet i både fält och i våra laboratoriestudier ger en stark indikation på att Revyona har tappat i känslighet. Revyona bör därför användas med försiktighet för att behandla torrfläcksjuka hos potatis i Skåne. Dessa resultat har kommunicerats till odlare genom Lyckeby och Jordbruksverkets nätverk (t.ex. Lyckeby nyhetsbrev och intressentmöten: FK-dagen och Potatismöte med växtskyddscentralerna).

Det kommande förbudet mot växtskyddsmedel som innehåller PFAS, vilket planeras träda i kraft 2028, väntas medföra allvarliga risker för stabiliteten i den svenska potatisförsörjningen. Enligt detta scenario beräknas torrfläcksjuka leda till skördeförluster på 30%, vilket motsvarar en ekonomisk förlust på 296 miljoner kronor (Andersson m.fl. 2026). Som en följd av förbudet förväntas endast ett DMI-fungicidpreparat (Narita, med den aktiva substansen difenokonazol) finnas kvar för bekämpning av torrfläcksjuka i stärkelsepotatis (Andersson m.fl., 2026). Att vara hänvisad till en enda aktiv substans innebär en stor risk för att patogenen utvecklar resistens, vilket kräver långsiktiga åtgärder. Eftersom samma dubbelmutation har visat sig påverka både mefentriflukonazol och difenokonazol (Schroeder m fl. 2025), finns det en risk att *A. solani* utvecklar korsresistens (det vill säga att minskad känslighet för ett fungicidpreparat även leder till minskad känslighet för ett annat, oftast för att de delar samma verkningsmekanism). Det finns därför ett akut behov av att fortsätta undersökningarna av fungicidkänslighet med isolat insamlade under säsongerna 2026 och 2027, för att kunna övervaka förändringar i känsligheten för DMI-fungicider samt spridningen av dubbelmutationen.

Referenser

Andersson, A., Andersson, B., Gerdtsson, A. *m fl*. 2026. Konsekvensutredning avseende utfasning av växtskyddsmedel med verksamma ämnen som kan bilda trifluorättiksyra (TFA). Potatisodling i Sverige. Jordbruksverket.

Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A.N.E. *m fl.* 2015. Eight principles of integrated pest management. Agron. Sustain. Dev. 35, 1199-1215. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9

Edin, E., Liljeroth, E., Andersson, B. 2019. Long term field sampling in Sweden reveals a shift in occurrence of cytochrome *b* genotype and amino acid substitution F129L in *Alternaria solani*, together with a high incidence of the G143A substitution in *Alternaria alternata*. Eur J Plant Pathol 155, 627–641. https://doi.org/10.1007/s10658-019-01798-9

Einspanier, S., Susanto, T., Metz, N. *m fl.* 2022. Whole-genome sequencing elucidates the species-wide diversity and evolution of fungicide resistance in the early blight pathogen *Alternaria solani.* Evol Appl 15, 1605-1620. https://doi.org/10.1111/eva.13350

FRAC, Fungicide resistance action committee, 2025. http://www.frac.info/

Mostafanezhad, H., Edin, E., Grenville-Briggs, L.J. *m fl.* 2022. Rapid emergence of boscalid resistance in Swedish populations of *Alternaria solani* revealed by a

combination of field and laboratory experiments. Eur J Plant Pathol 162, 289-303. https://doi.org/10.1007/s10658-021-02403-8

Karlsson Green, K., Stenberg, J., Lankinen, Å. 2020. Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. Evol Appl 13, 1791-1805. https://doi.org/10.1111/eva.13067

Kapsa, J.S. 2008. Important threats in potato production and pathogen/pest management. Potato Res 87:385-401.

Kumar, S., Singh, R., Kashyap, P.L, Srivastava, A.K. 2013. Rapid detection and quantification of *Alternaria solani* in tomato. Sci Hortic 151. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.026

Liljeroth, E., Stridh, L., Edin, E., Radha, S.S. 2025. Early blight in potato: A decade-long field studies show high variation in yield losses. Potato Res, 68, 4909–4930 https://doi.org/10.1007/s11540-025-09940-3

Lucas, J.A., Hawkins, N.J., Fraaije, B.A. 2015. The evolution of fungicide resistance. Adv Appl Microbiol 90, 29-92. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J. *m fl.* 2019. The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nat Ecol Evol 3, 430–439. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y

SCB (2022) Pesticides in agriculture and horticulture 2021. Use on crops. Statistiska meddelanden MI 31 SM 2202, Statistiska Centralbyrån, Sweden. https://www.scb.se/contentassets/6e042f0902bb449fb15edc4c1eb8e22c/mi0502_2021i20_br_mi31br2202.pdf

Schroeder, A.C., Hoffmeister, M., De Oliveira Silva, A. *m fl.* 2025. *CYP51* alterations in *Alternaria solani* and their effects on DMI sensitivity and fitness. Appl Environ Microbiol 91, e00400-25. https://doi.org/10.1128/aem.00400-25

Sparks, T.C., Nauen, R. 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. Pestic Biochem Physiol 121, 122-128. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014

Stridh, L.J., Mostafanezhad, H., Andersen, C.B. *m fl.* 2022. Reduced efficacy of biocontrol agents and plant resistance inducers against potato early blight from greenhouse to field. J Plant Dis Prot 129, 923-938. https://doi.org/10.1007/s41348-022-00633-4

Stridh, L.J., Malm, G., Lankinen, Å. *m fl.* 2024. Field and management factors can reduce potato early blight severity: an observational study on farms combined with field trials in southern Sweden. Potato Res. 67, 833-859. https://doi.org/10.1007/s11540-023-09669-x

Yang, L.N., He, M.H., Ouyang, H.B. *m fl.* 2019. Cross-resistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. BMC Microbiol 19, 205. https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8