



***Cercospora beticola* – ett växande problem i svensk sockerbetsodling**

Metodutveckling av *in vitro*-tester för fungicider mot *C. beticola* samt utvärdering av inokulerade fungicid- och sortförsök

Carl-Hugo Jonsson

Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi
Agronom mark och växt - Masterprogram
Uppsala 2026



Cercospora beticola – ett växande problem i svensk sockerbetsodling
Metodutveckling av *in vitro*-tester för fungicider mot *C. beticola* samt utvärdering
av inokulerade fungicid- och sortförsök

Cercospora beticola – an emerging challenge in Swedish sugar beet production.
Method development of *in vitro* assays for fungicides against *C. beticola* and inoculated
fungicide and cultivar trials

Carl-Hugo Jonsson

Handledare: Björn Andersson, Sveriges lantbruksuniversitet,
institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi
Bitr. handledare: Louise Holmquist, Nordic Beet Research
Examinator: Hanna Friberg, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för
skoglig mykologi och växtpatologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i biologi för agronomer A2E
Kurskod: EX1026
Program/utbildning: Agronom mark och växt - Masterprogram
Kursansvarig inst.: Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2026
Omslagsbild: Carl-Hugo Jonsson
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord: Agarplattmetod, *Cercospora beticola*, fungicidresistens,
fältförsök, *in vitro*, känslighetstest, mikrotiterplattmetod,
sockerbeta, toleranta sorter

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi

Sammanfattning

Cercospora beticola har under senare år blivit ett växande problem i svensk sockerbetsodling, vilket ökar behovet av bättre metoder för hantering av sjukdomen. Detta innefattar såväl fältförsök som laboratorieanalyser. Syftet med det här arbetet är att förbättra förståelsen för hantering av cercospora i Sverige genom att utvärdera inokulerade sort- och fungicidförsök, utveckla fenotypiska känslighetstester mot fungicider i NBR:s laboratorium samt att undersöka förekomsten av resistensmutationer i cytb-genen.

C. beticola är en hemibiotrof svamp med en latent biotrofisk fas följt av en nekrotrofisk fas. Dess polycykliska livscykel möjliggör flera infektioner per säsong. Svampen överlever på växtrester i fält i form av pseudostromata som även är den primära källan till inokulum då den producerar asexuella sporer som sprids med vind och regn. Angrepp av *C. beticola* kan orsaka skördeförstär upp mot 50%, främst genom de nekrotiska fläckarna som medför att sockerbetorna behöver producera nya blad på bekostnad av sockerlagring. Hantering av cercospora består till stor del av toleranta eller resistent sorter samt kemisk bekämpning men även odlingsåtgärder som växtföljd och bearbetningsteknik. På senare tid har växtförädling resulterat i en ökad tillgång till resistent sorter utan negativ påverkan på sockersköörden, vilket tidigare varit ett problem. Frekvent användning av fungicider ur samma FRAC-grupp och *C. beticolas* polycykliska livscykel har skapat ett högt selektionstryck och lett till både kvalitativ och kvantitativ resistens globalt.

Inokulerade sort och fungicidförsök från 2025 i Skåne visade att en tolerant sort hade lägre angrepp, bättre sockerhalt och sockerskörd än de testade marknadssorterna. Samtidigt noterades inga signifikanta skillnader i sockerhalt eller sockerskörd mellan marknadssorterna i det inokulerade sortförsöket. Fungicidbehandlingar med DMI-fungicider minskade angreppen och ökade sockersköörden där fungiciden Propulse presterade bäst. Behandlingar med strobilurin-fungicider visade ingen bekämpningseffekt mot cercospora. Behandling med biostimulanten Nuvola OR tillsammans med Comet Pro gav högre sockerskörd jämfört med Comet Pro själv vilket indikerar att Nuvola OR men även andra biostimulanter kan integreras i bekämpningen av cercospora.

Känslighetstester *in vitro* på agarplatta visade genom EC50-värden att *C. beticola*-isolat uppvisar minskad känslighet mot protiokonazol men högre känslighet mot difenokonazol och mefentriflukonazol. Samtidigt var isolaten inte känsliga mot azoxystrobin, pyraklostrobin eller fluopyram. *In vitro*-tester enligt mikrotiterplattmetoden visade liknande resultat för DMI-fungiciderna, men metoden har utvecklingsbehov och är i NBR:s laboratorium inte lika tillförlitlig och effektiv som agarplattmetoden. Sanger-sekvensering visade att G143A-mutation i cytb-genen är väldigt vanlig i Sverige och Danmark.

En kombination av toleranta sorter, odlingsåtgärder som plöjning, växtföljd och fungicidanvändning tillsammans med fenotypiska känslighetstester i laboratorium kommer vara nödvändig för att hantera det växande problemet av cercospora och fungicidresistens i Sverige.

Nyckelord: Agarplattmetod, *Cercospora beticola*, fungicidresistens, fältförsök, *in vitro*, känslighetstest, mikrotiterplattmetod, sockerbeta, toleranta sorter

Abstract

In recent years, *Cercospora beticola* has become a growing problem in Swedish sugar beet production, increasing the need for improved management strategies. This includes both field trials and laboratory analyses. The aim of this study is to enhance the understanding of *C. beticola* in Sweden by evaluating inoculated variety and fungicide trials, developing phenotypic fungicide sensitive tests in Nordic Beet Research (NBR) laboratory, and investigating the prevalence of resistance mutations in the *cytb* gene.

C. beticola is a hemibiotrophic fungus with a latent biotrophic phase followed by necrotrophic phase. Its polycyclic life cycle allows multiple infection cycles per season. The fungus survives on plant debris in field in the form of pseudostromata, which serve as the primary source of inoculum by producing asexual spores dispersed by wind and rain. Infestations of *C. beticola* can cause yield losses up to 50%, primarily due to necrotic leaf spots that force the sugar beets to produce new leaves at the expense of sugar. Management of *C. beticola* largely relies on tolerant or resistant varieties and chemical control, as well as cultural practices as crop rotation and tillage techniques. Recently, plant breeding has developed resistant varieties with less negative impact on sugar yield, that previously was a concern. However, frequent use of fungicides from same FRAC group, combined with the polycyclic life cycle of *C. beticola*, has created high selection pressure, leading to both qualitative and quantitative resistance globally.

Inoculated variety and fungicide trials from 2025 in Skåne showed that a tolerant variety exhibited lower infection levels, as well as better sugar content and sugar yield, compared to the tested commercial market varieties. Meanwhile, no significant differences in sugar content or yield were observed between the market varieties in the inoculated trial. Fungicide treatments with DMI fungicides reduced infection levels and increased sugar yield, with Propulse performing the best. Treatments with strobilurin fungicides showed no control efficacy. Interestingly, treatment with the biostimulant Nuvola OR in combine with Comet Pro resulted in a higher sugar yield compared to Comet Pro alone, indicating that Nuvola OR and other biostimulants could be integrated into cercospora management.

In vitro agar plate sensitivity assays showed, through EC50 values, that *C. beticola* isolates exhibit reduced sensitive to prothioconazole but higher sensitive to difenoconazole and mefentrifluconazole. At the same time, the isolates were not sensitive to azoxystrobin, pyraklostrobin or fluopyram. *In vitro* assays according to the microtiter plate method showed similar results for DMI fungicides, however, in the NBR laboratory, it is currently not as reliable or efficient as the agar plate method and requires further development. Sanger sequencing confirms that the G143A mutation in the *cytb* gene were very common in both Sweden and Denmark.

In conclusion, it will be necessary with a combination of tolerant varieties, cultural practices such as ploughing and crop rotation, and strategic fungicide use together with phenotypic sensitive tests in the laboratory to manage the growing challenges of cercospora and fungicide resistance problem in Sweden.

Keywords: Agar plate method, *C. beticola*, field trials, *in vitro*, microtiter plate method, sensitivity tests, sugar beet, tolerant varieties

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning	9
Förkortningar	11
1. Bakgrund	12
1.1 Syfte	13
1.2 Frågeställningar	13
2. Introduktion	14
2.1 Sockerbetsodling	14
2.1.1 Svampsjukdomar och fungicidanvändning i svensk sockerbetsodling	14
2.2 <i>Cercospora beticola</i>	15
2.2.1 <i>Cercospora beticola</i> , livscykel, symptom och spridning.....	15
2.3 Hantering av cercospora.....	18
2.3.1 Fungicidanvändning mot <i>Cercospora beticola</i> och resistensproblematiken globalt	18
2.3.2 Växtförädling i sockerbetor för att hantera <i>Cercospora beticola</i>	21
2.3.3 Metoder för att studera känslighet och resistens mot fungicider som används mot <i>C. beticola</i>	23
2.3.4 Biostimulanter mot <i>C. beticola</i>	25
3. Metod	26
3.1 Fältförsök	26
3.1.1 Inokulerade fältförsök 2025.....	26
3.2 Laborationer.....	27
3.2.1 Fenotypisk känslighet på agar.....	28
3.2.2 Mikrotitertest	30
3.2.3 Genotypisk undersökning av G143A mutationen med Sanger-sekvensering	
34	
4. Resultat	36
4.1 Inokulerade fältförsök	36
4.1.1 Inokulerade sortförsöket	36
4.1.2 Inokulerade fungicidförsöken	38
4.2 Fungicidresistens	44
4.2.1 Fenotypisk känslighet enligt agarplattmetoden	44
4.2.2 Fenotypisk känslighet enligt mikrotiterplattmetoden	46
4.2.3 Sanger-sekvensering av cytb-genen.....	48
5. Diskussion	50
5.1 Inokulerade fältförsök	50

5.1.1	Sortförsök	50
5.1.2	Fungicidförsök	50
5.1.3	Jämförelse mellan de fungicidförsöken och sortförsöket	52
5.2	Laboratoriestudier	53
5.2.1	Skillnader mellan agarplatt- och mikrotiterplatt-metoderna och deras EC50-värden	53
5.2.2	Sanger-sekvensering och förekomsten av G143A-mutationen	55
6.	Slutsatser.....	57
	Referenser	58
	Populärvetenskaplig sammanfattning.....	63

Tabellförteckning

Tabell 1. Fungicidprogrammen från 19 fungicidförsök mellan 2019-2024 med tillhörande skörd samt se aktiva substanserna och vilken FRAC-grupp de tillhör (Andersson & Holmquist 2025; BASF 2025a; b; Bayer 2025).	15
Tabell 2. Bekämpningsstrategierna med tillhörande FRAC-grupper som användes i fungicidförsöken där 2x betyder att bekämpningen utfördes två gånger och värdet framför preparatnamnet är dosen i l/ha.	27
Tabell 3. Alla isolat som inkluderades i studien med information om insamlingsår och ursprungsland.	28
Tabell 4. FRAC-grupperna, aktiva substanserna samt koncentrationerna som användes till agarplattorna. Samtliga aktiva substanser kommer från Sigma Aldrich förutom mefentriflukonazol, där Revyona användes (BASF).	29
Tabell 5. FRAC-grupperna, aktiva substanserna samt koncentrationerna som användes till mikrotiterplatt-testet. Samtliga aktiva substanser kommer från Sigma Aldrich men mefentriflukonazol kommer från Revyona (BASF).	33
Tabell 6. Primrarna som användes vid PCR (Bolton et al. 2013)	34
Tabell 7. PCR-programmen som kördes för primrarna 738cytbF och 739cytbR.	35
Tabell 8. Skörderesultat från det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%) och sockerskörd (t/ha) presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde.	38
Tabell 9. Skördedata från fungicidförsöket på Helgegården 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativtal presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.	40
Tabell 10. Skördedata från fungicidförsöket i Borgeby 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativtal presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.	42
Tabell 11. Skördedata från båda inokulerade fungicidförsöken 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativtal presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.	44
Tabell 12. EC50-värden och standardavvikelser för isolat 1–12 beräknade i R för protikonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol från agarplattmetod med fungicidkoncentrationerna 10; 1; 0,1; 0,01; 0 mg/l.	45

Tabell 13. Det relativa standardfelet (RSE) beräknat från EC50-värden och standardavvikelse för protikonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol på agarplattmetoden.....	45
Tabell 14. EC50-värden och standardavvikelser för isolat 1–12 beräknade i R för protikonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol från mikrotiterplattmetod med fungicidkoncentrationerna 100; 10; 1; 0,1; 0 mg/l.	47
Tabell 15. Det relativa standardfelet (RSE) beräknat från EC50-värden och standardavvikelse för protikonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol på mikrotiterplattmetoden.	47
Tabell 16. Alla 48 isolat som testats om G143A-mutationen i cytb-genen är närvarande. Även vilket land och år som isolatet är ifrån.....	48

Figurförteckning

Figur 1. Den årliga angreppsutvecklingen i % angripen bladyta av <i>Cercospora beticola</i> från Jordbruksverkets veckovisa observationer av bladsvampar i sockerbetor i Sverige mellan 2014–2025.....	12
Figur 2. Livscykeln hos <i>C. beticola</i> . Från spridning av sporer från pseudostromata till inträngning i bladen och bildandet av bladfläckar. Det kan ske flera gånger per säsong. Sexuellt stadie har aldrig observerats men mycket tyder på att det finns. Illustration: Hanna Kollberg (Rangel et al. 2020).....	16
Figur 3. Ett sockerbetsblad med karakteristiska <i>Cercosporasymptom</i> . Foto: Carl-Hugo Jonsson	17
Figur 4. Agarplattorna vid mätning av inhibering av mefentriflukonazol på isolat 8 efter 20 dygn. Foto: Carl-Hugo Jonsson.....	29
Figur 5. Bild på mycelbollar av <i>C. beticola</i> som producerats i tomatjuice-medium under konstant omrörning, ljus och 25 °C i fyra dygn. Foto: Carl-Hugo Jonsson	31
Figur 6. Bild på homogeniserat mycel med hjälp av metallkuler till mikrotiterplattorna. Foto: Carl-Hugo Jonsson.....	32
Figur 7. Bild på en mikrotiterplatta vid det fenotypiska känslighetstestet av DMI-fungiciderna. Foto: Carl-Hugo Jonsson.....	33
Figur 8. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025. Graferna visar graderingsresultat från sju svenska marknadssorter från olika fröfirmor samt en cercosporatolerant sort.	36
Figur 9. Bild från det inokulerade sortförsöket på Helgegården vecka 39. Mitt i bilden syns parcellen med tolerant sort och i parcellerna till vänster och höger är det vanliga kommersiella sorter. Foto: Carl-Hugo Jonsson	37
Figur 10. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i inokulerat fungicidförsök på Helgegården 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehandlingarna mot bladsvampar i sockerbetor i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.	39
Figur 11. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i inokulerat fungicidförsök i Borgeby 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehandlingarna mot bladsvampar i sockerbetor i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.	41

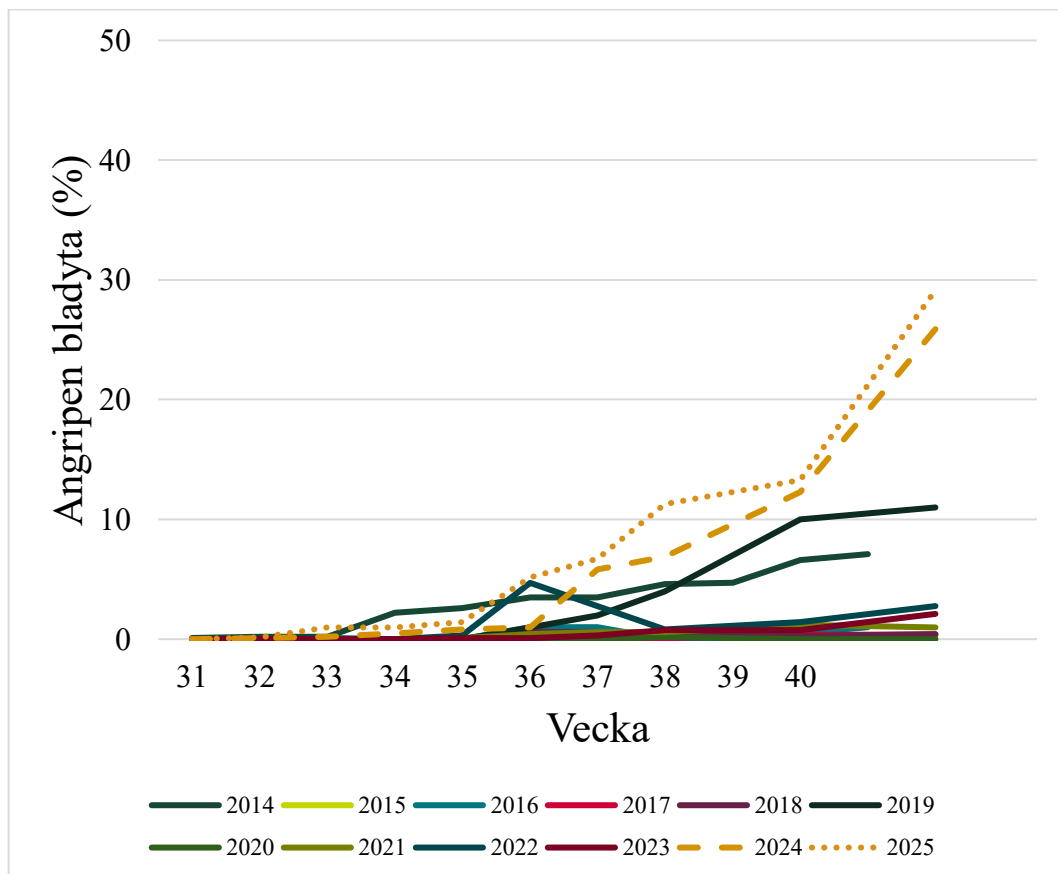
- Figur 12. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i båda de inokulerade fungicidförsök från 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehand-lingarna mot bladsvampar i sockerbetor i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.43
- Figur 13. Kromatogram över en del av cytb-genen hos *C. beticola*. Översta raden visar vildtypsekvens. Isolat 22 uppvisar vildtypsekvens GGT medan isolat uppvisar GCT som ger upphov till G143A-mutationen.49

Förkortningar

Förkortning	Betydelse
DMI	Demethylation inhibitors
FRAC	Fungicide Resistance Action Committee
NBR	Nordic Beet Research
SDHI	Succinate dehydrogenase inhibitors
QiI	Quinone inside Inhibitors
QoI	Quinone outside Inhibitors
ROS	Reaktiva syreföreningar
Cytb	Cytokrom b
MBC	Metyl bensimidazol karbamater
MSF	Major facilitator superfamily
SHAM	Salicylhydroxamsyra
OD	Optisk densitet
nm	nanometer
GWAS	Genome Wide Association Study
SAR	Systemic Acquired Resistance

1. Bakgrund

Svampen *Cercospora beticola* är ett stort problem i global sockerbetsodling eftersom den kan *orsaka* upp till 50% skördeförlost vid kraftiga angrepp (Rangel et al. 2020). Under de senaste åren, framför allt 2024 och 2025 har det observerats kraftigare och tidigare angrepp av *C. beticola* i Sverige (Figur 1). Med klimatförändringarnas varmare väder kommer kraftigare angrepp av *C. beticola* troligen bli ett större problem i sockerbetsodling i områden där det tidigare inte varit något större problem, som i Sverige (Yang et al. 2025). Fungicidresistens hos *C. beticola* är ett globalt utbrett problem som försvårar hanteringen av den med fungicider (Rangel et al. 2020). Därför behövs fördjupad kunskap i Sverige om *C. beticola*s livscykel, hur den bör hanteras samt hur fungicidresistens hos *C. beticola* kan testas och motarbetas.



Figur 1. Den årliga angreppsutvecklingen i % angripen bladyta av *Cercospora beticola* från Jordbruksverkets veckovisa observationer av bladsvampar i sockerbetar i Sverige mellan 2014–2025.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete var att förbättra förståelsen om *C. beticola* för att stärka hanteringen av bladfläcksjukdomar i svensk sockerbetsodling. I arbetet har inokulerade fältförsök gjorda av NBR (Nordic Beet Research) använts för att studera olika sockerbetsorsorters tolerans mot *C. beticola* men även hur väl olika fungicider samt biostimulanter fungerar för att hantera *C. beticola* vid kraftiga angrepp. Syftet var även att utveckla fenotypiska metoder för att undersöka känslighet mot fungicider *in vitro* i NBR:s laboratorium baserad på bestämning av tillväxt hos *C. beticola* på näringsmedium. En ytterligare del av arbetet var att undersöka möjligheten att bestämma förekomst av fungicidresistens genom bestämning av mutationer kopplade till resistens mot strobiluriner i Cytokrom b-genen.

1.2 Frågeställningar

- Hur presterar svenska marknadssorter jämfört med en mer tolerant sort i inokulerade fältförsök? Är det skillnad i angrepp av *C. beticola* under säsongen och hur påverkas skördevariabler såsom rotskörd, sockerhalt och sockerskörd av kraftiga angrepp?
- Finns det skillnader i bekämpningseffekt mot *C. beticola* hos de svenska godkända fungiciderna i sockerbeter vid kraftiga angrepp? Hur påverkar olika behandlingar av fungicider samt biostimulanter skördeparametrar som rotskörd, sockerhalt och sockerskörd av de kraftiga angreppen?
- Finns det skillnad i EC50-värden från test av fenotypisk känslighet mot DMI-fungicider på agarplattor eller med mikrotiterplattor? Vilken metod är mest tillförlitlig och praktisk i NBR:s laboratorium?
- Hur känsliga är isolat av *C. beticola* från Sverige och Danmark insamlade under 2025 mot DMI-fungicider, strobiluriner och SDHI-preparat?
- Finns G143A-mutationen i svenska och danska isolat från 2024 och 2025?

2. Introduktion

2.1 Sockerbetsodling

Sockerbeta (*Beta vulgaris ssp. vulgaris*) är en bienn växt som har stor ekonomisk betydelse i världen. Sockerbetor står för ungefär 20% av världens sockerproduktion vilket gör den till den näst största sockergrödan efter sockerrör som står för 80% (Tan et al. 2023). Sockerbetor härstammar från vilda släktingar och har odlats i cirka 10 000 år. I början av 1700-talet upptäcktes att det går att utvinna samma sockermolekyl ur sockerbetans rot som finns i sockerrör vilket medförde att växtförädling för ökad rottillväxt och sockerhalt började (Pathak et al. 2022).

Sverige är självförsörjande på socker och sockerbetor odlas främst i Skåne men även Blekinge och Halland. Det finns ett sockerbruk beläget i Örtofta (Skåne). Sockerbetsodlingen sker på cirka 28 000 ha. Under de senaste fem åren har den genomsnittliga rotskörden varit 72,3 ton/ha och den genomsnittliga sockerhalten 17,5%. Totalt produceras cirka 300 000 ton socker som utvinns från två miljoner ton sockerbetor (Betodlarna 2025).

2.1.1 Svampsjukdomar och fungicidanvändning i svensk sockerbetsodling

I Sverige är de vanligaste svampsjukdomarna i sockerbetor betrost (*Uromyces betae*), mjöldagg (*Erysiphe betae*), ramularia (*Ramularia beticola*) och cercospora (*Cercospora beticola*). Betrost, ramularia och cercospora gynnas av fuktigt väder medan mjöldagg gynnas av torrare väder. Framför allt betrost men även mjöldagg är och har varit de vanligaste bladsvamparna i svensk sockerbetsodling och kan orsaka stora skördeföruster vid kraftiga angrepp. Dessa sjukdomar hanteras med fungicider samt toleranta sorter (Sockerbetor.nu 2025). Bekämpningströskeln för svampsjukdomar i sockerbetor i Sverige är när minst 1/33 av bladen har symptom av någon svampsjukdom och brukar normalt inträffa i slutet av juli eller i början av augusti (Andersson & Holmquist 2025; Sockerbetor.nu 2025).

För att undersöka effekten av fungicidbehandling på svampsjukdomar i sockerbetor utförs försök med olika preparat och doser (Tabell 1). Mellan 2021–2024 lades totalt 19 fungicidförsök ut i Skåne och de visade att fungicidbehandling av sockerbetor med naturlig infektion av bladsvampar resulterade i en merskörd på ca 1500 kg socker/ha. Skördeökningen skiljde sig inte mycket mellan preparaten men dos och preparatval påverkade den ekonomiska vinsten. I Sverige rekommenderas två fungicidbehandlingar med 0,3L Comet Pro och 0,5L Revyona per hektar (Andersson & Holmquist 2025).

Tabell 1. Fungicidprogrammen från 19 fungicidförsök mellan 2019-2024 med tillhörande skörd samt de aktiva substanserna och vilken FRAC-grupp de tillhör (Andersson & Holmquist 2025; BASF 2025a; b; Bayer 2025).

Fungicidprogram	Sockerskörd (t/ha)	Aktiv substans	FRAC- grupp
Obehandlat	17,7	-	-
2x 0,3 Comet Pro	19,2	Pyraklostrobin	11
2x 0,6 Comet Pro	19,1	Pyraklostrobin	11
2x Comet Pro + Revyona	19,2	Pyraklostrobin + Mefentriflukonazol	11, 3
2x Comet Pro + Propulse	19,2	Pyraklostrobin + Protiokonazol + Fluopyram	11, 3, 7

Utöver de nämnda fungicidprogrammen finns försök där fungiciden Amistar Gold med de aktiva substanserna difenokonazol (FRAC-grupp 3) och azoxystrobin (FRAC-grupp 11) testas men den används i begränsad omfattning i Sverige. Propulse, vilken är med i försöken mellan 2019–2024, innehåller protikonazol (DMI) och fluopyram (SDHI) men är inte tillåten att använda i svensk sockerbetsodling (Andersson & Holmquist 2025; Syngenta 2025).

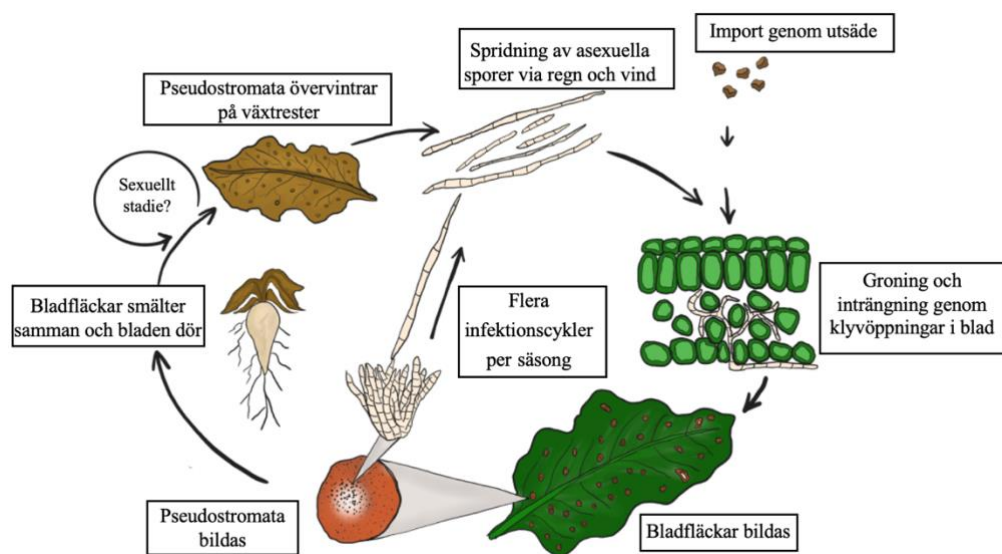
2.2 *Cercospora beticola*

Cercospora beticola Sacc. tillhör fylum *Ascomycota*, klass dothideomycetes, ordning capnodiales, familjen mycosphaerellaceae och beskrevs första gången 1876 i Italien (Kaya 2022). Det orsakar sjukdomen cercospora, som är en av de vanligaste och allvarligaste svampsjukdomarna på sockerbeter i världen. Sjukdomen kan orsaka skördeförluster upp till 50%, framför allt på grund av de nekrotiska fläckarna på bladen som leder till minskad fotosyntes men även till sockerförluster vid ny bladproduktion efter att bladen dör till följd av angrepp (Rangel et al. 2020; El Housni et al. 2023). Angrepp av *C. beticola* försämrar sockerkvaliteten genom att öka sockerbetans innehåll av natrium, kalium och alfa-amino kväve. Dessutom påverkas lagringsdugligheten negativt (Kaya 2022; El Housni et al. 2023).

2.2.1 *Cercospora beticola*, livscykel, symptom och spridning

Cercospora beticola är en hemibiotrof svamp vilket innebär att den har två infektionsfaser, en initial latent biotrofisk fas följt av en nekrotrofisk fas. Det är en polycyklisk patogen vilket innebär att den har flera infektionscykler under en säsong (El Housni et al. 2023). Svampen övervintrar i form av pseudostromata som är en form av uttorkningståliga hyfstrukturer som kan överleva på växtrester i marken upp till 22 månader och producera asexuella sporer under gynnsamma

förhållanden (Khan et al. 2008; Rangel et al. 2020). Förökning sker genom klonal asexuell förökning. Det sexuella steget med ascosporer, som normalt bildas hos ascomyceter, är möjligt men har aldrig observerats hos *C. beticola* (Rangel et al. 2020). Pseudostromata, där de asexuella sporer (konidierna) bildas, är den primära källan till inokulum då den överlever i mark och utvecklar sporer (konidier) som främst sprids med vind och regn (Figur 2). Produktionen av de asexuella sporer börjar på våren och kräver temperaturer över 15 °C och 60% luftfuktighet. Konidieforer med konidier bildas i pseudostromata (Rangel et al. 2020), och när konidierna sprids till nya blad och gror bildas appressoria och hyferna tränger in genom bladens klyvöppningar (Figur 2). Konidierna behöver luftfuktighet över 90% och temperaturer mellan 25–35 °C på dagen och >16°C på natten för att gro och infektera bladen (Windels et al. 1998; Chen 2024). Hyferna växer intracellulärt och den latenta fasen som pågår i den biotrofiska delen är asymtomatisk (Rangel et al. 2020; Oerke & Steiner 2025). Inkubationstiden under gynnsamma förhållanden är 10-13 dagar men kan vara upp till 25 dagar (Oerke & Steiner 2025).



Figur 2. Livscykeln hos *C. beticola*. Från spridning av sporer från pseudostromata till inträngning i bladen och bildandet av bladfläckar. Det kan ske flera gånger per säsong. Sexuellt stadie har aldrig observerats men mycket tyder på att det finns. Illustration: Hanna Kollberg (Rangel et al. 2020).

När *C. beticola* övergår till nekrotrofisk fas produceras fytotoxiner och degraderande enzymer vilket skapar karakteristiska cercosporasymptom i form av cirkulära lesioner som är cirka 2-5mm i diameter (Figur 3). Det viktigaste toxinet är cercosporin som är fotoaktivt och bildar reaktiva syreföreningar (ROS) vilket leder till celldöd i bladen (Rangel et al. 2020). Utöver cercosporin finns även beticoliner som bildar jonkanaler som stör cellmembranets funktion. Samtidigt

utsöndrar svampen hydrolytiska enzymer, såsom cellulaser och pektinaser, som bryter ned betbladens cellväggar. Den nekrotrofiska fasen är avgörande för *C. beticola* då celldöd i betbladen frigör näringsämnen och leder till massiv sporulering och fortsatt sporspridning. I mitten av lesionerna bildas pseudostromata som under gynnsamma förhållanden bildar nya sporer, som inom sju dagar sprids dessa med vind och regnstänk vilket leder till sekundära infektioner upprepade gånger under säsongen (Weiland & Koch 2004; Rangel et al. 2020; Oerke & Steiner 2025).



Figur 3. Ett sockerbetsblad med karakteristiska *Cercosporasymptom*. Foto: Carl-Hugo Jonsson

När bladen dör finns pseudostromata kvar på växtrester i jorden och blir inokulum för kommande års infektioner (Oerke & Steiner 2025). Studier av Kahn et al. (2008) visade att nedplöjning av växtrester till 10 och 20 cm i jorden minskade överlevanden av pseudostromata till 10 månader. Om bladen lämnades kvar på ytan överlevde de i 22 månader och efter 34 månader fanns ingen livsduglighet kvar. Därför är nedplöjning av växtrester en viktig åtgärd för att minska spridning till kommande säsonger. Spridning kan även ske via maskiner och verktyg.

Cercospora beticola kan även infektera och spridas från alternativa värdväxter. Alternativa värdväxter kan vara andra odlade grödor inom släktet *Beta* såsom rödbeta (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) men även ogräs inom spenatsläktet och amarantsläktet där t.ex. mållafamiljen (*Chenopodiaceae*) ingår (Weiland & Koch

2004). Exempel på ogräs som *C. beticola* kan infektera och leva på är åkersenap (*Sinapis arvensis*), svinmålla (*Chenopodium album*), skräppa (*Rumex* spp.) och åkervinda (*Convolvulus arvensis*). Alternativa värdväxter kan därför agera som en så kallad grön brygga för *C. beticola* när inte sockerbetor är närvarande i fält (Windels et al. 1998; Chen 2024).

En annan spridningsväg för *C. beticola* är genom import av betfrön eftersom svampen kan överleva i perikarpen (fruktskalet). Import av betfrö kan därför vara en inkörsport för fungicidresistenta populationer av *C. beticola*. Spanner et al. (2022) beskriver att observerad strobilurin-resistent *C. beticola* i Sverige 2012 kan ha härstammat från importerade frön. Vidare har populationsgenetiska studier visat hög genetisk diversitet lokalt samtidigt som den globala genetiska variationen hos *C. beticola* kan vara låg (Rangel et al. 2020). Exempelvis har isolat från USA uppvisat genetisk likhet med europeiska populationer vilket kan betyda att *C. beticola* spridits antropogent. Samtidigt finns studier på stora lokala genetiska skillnader inom ett fält under samma säsong vilket visar komplexiteten mellan populationer och spridningen av *C. beticola* vilket är av betydelse för risken för fungicidresistens (Chen 2024).

2.3 Hantering av cercospora

Detta avsnitt beskriver olika metoder för att hantera *C. beticola* i fält, samt metoder för att undersöka fungicidresistens i laboratorium

2.3.1 Fungicidanvändning mot *Cercospora beticola* och resistensproblematiken globalt

Fungicider är en del i de olika bekämpningsmetoderna som används mot cercospora i sockerbetor. Fungicider har olika verknings sätt och delas baserat på det in i olika FRAC-grupper. De globalt mest använda fungiciderna mot cercospora är MBC (Metyl bensimidazol karbamater) (FRAC 1), DMI (Demethylation inhibitors) (FRAC 3) och QoI (Strobiluriner) (FRAC 11). Fungicider ur olika FRAC-grupper har olika verkningsmekanismer vilket medför varierande risker för *C. beticola* att utveckla resistens eller minskad känslighet. Fungicider med multisite-verkan, exempelvis kopparföreningar, klassificeras som lågriskpreparat vad gäller resistensutveckling. Dessa substanser angriper flera olika måltavlor samtidigt i svampcellen och stör en rad vitala livsprocesser. Singlesite-fungicider verkar genom att hämma ett specifikt enzym eller protein i svampens metabolism men beroende på den specifika mekanismen delas dessa in i undergrupperna kvalitativ respektive kvantitativ. Kvalitativ resistens orsakas av en enda punktmutation i målgenen vilket delar upp populationen i helt känsliga och fullständigt resistenta sub-populationer. Det medför en kraftig ökning av den fullständigt resistenta populationen vid selektionstryck av fungiciden. Vid

kvantitativ-resistens sker resistensutvecklingen mer gradvis. Känsligheten i svamppopulationen är mer kontinuerligt fördelad, från väldigt hög till väldigt låg känslighet mot fungiciden hos isolaten. Vid kvantitativ resistens sker en förskjutning mot minskad känslighet hos hela populationens snarare än en snabb selektion av fullständigt resistent isolat som för kvalitativ resistens (Kiniec et al. 2022). Frekvent fungicidanvändning med fungicider ur samma FRAC-grupp i kombination med *C. beticolas* polycykliska livscykel har skapat högt selektionstryck och orsakat stora problem med fungicidresistens mot specifika fungicidgrupper (Rangel et al. 2020).

FRAC 1 – Metyl bensimidazol karbamater (MBC)

Redan på 1970- och 1980-talet utvecklades resistens (kvalitativ) mot fungicider i FRAC grupp 1, (MBC), i USA och södra Europa (Vogel et al. 2018). MBC-fungicider binder till β -tubulin och inhiberar mitosen vilket hindrar svampens tillväxt. Punktmutationen E198A i genen som kodar för β -tubulin leder till fullständig resistens hos *C. beticola* (Rosenzweig et al. 2015). MBC-fungicider används inte längre i EU då de anses verkningslösa mot *C. beticola*, och har ersatts av andra fungicidgrupper som QoI och DMI. Även i dessa grupper har det dock utvecklats resistens och minskad känslighet hos svampen (Kiniec et al. 2022).

FRAC 11 – Strobiluriner (QoI)

I FRAC grupp 11 ingår strobiluriner, quinone outside inhibitors (QoI), som verkar genom att binda till platsen där kinon oxideras (komplex III) i mitokondriens andningskedja (cytokrom bc_1 komplexet) vilket hämmar respirationen och ATP-produktionen hos svampen (Malandrakis et al. 2011; Bolton et al. 2013). *Cercospora beticola* har utvecklat kvalitativ resistens mot strobiluriner genom punktmutation i genen som kodar för cytokrom b (Cytb) vilket är ett membranprotein i mitokondriens bc_1 komplex. Punktmutationerna leder till aminosyrabyten i målproteinet som förhindrar strobilurinerna att binda dit vilket orsakar fullständig resistens mot strobiluriner hos *C. beticola*. Den vanligaste mutationen är G143A där nukleotiderna GGT, som kodar för aminosyran glycin muterar till GCG som kodar för alanin, vilket medför ett aminosyraskifte och fungicidresistens (Trkulja et al. 2017). F129L och G137R är andra punktmutationer som också är associerade med QoI-resistens (Bolton et al. 2013).

FRAC 3 – Demethylation inhibitors (DMI)

Demethylation inhibitors (DMI) består främst av triazoler och är en single site-fungicid som är kvantitativ till skillnad från MBC och QoI som är kvalitativ (Hoffmeister et al. 2024). Det påverkar både DMI-fungiciders verkan och resistensrisk. DMI fungicider verkar genom att binda till enzymet sterol 14α -

demetylas som uttrycks av CYP51-genen. Enzymet är essentiellt för bildningen av ergosterol som bygger upp svampens cellmembran vilket är viktigt för att cellernas permeabilitet och fluiditet. Om ergosterol-tillverkningen blockeras blir cellmembranet instabilt och svampen dör (Muellender et al. 2021; Spanner et al. 2022). Resistens eller minskad känslighet mot DMI-fungicider kan orsakas genom punktmutationer i CYP51-genen som leder till aminosyrabyten som ger enzymet sterol 14 α -demetylas en annan tredimensionell struktur vilket minskar triazolernas affinitet till enzymet utan att påverka enzymets funktion (Muellender et al. 2021). Exempel på mutationer i CYP51 genen är L144F, I309T, I387M och Y464S. De kan även förekomma i kombinationer, där L144F och I309T visat sig vanlig i mindre känsliga isolat (Hoffmeister et al. 2024). Utöver de punktmutationer som orsakar aminosyrabyten finns ”tysta” mutationer, exempelvis E170, där tripletten av nukleotiderna GAG byts mot GAA vilket inte orsakar aminosyrabyte men är ändå associerad med minskad känslighet mot DMI-fungicider.

En ytterligare orsak att *C. beticola* kan utveckla minskad känslighet mot DMI-fungicider är överuttryck av CYP51-genen vilket leder till större mängd enzym och fortsatt funktion trots närvaro av fungiciden. Studier har visat att isolat som överuttrycker CYP51-genen hade högre EC50-värden (Bolton et al. 2012; Kumar et al. 2021). *C. beticola* kan även minska koncentrationen av DMI-fungiciderna i cellerna genom efflux pumpar, såsom ATP-binding cassetts (ABC) och major facilitator superfamily (MSF), som pumpar ut fungiciderna vilket minskar känsligheten mot fungiciderna utan koppling till CYP51 genen (Bolton et al. 2012; Spanner et al. 2021).

FRAC 7 – SDHI

Succinate dehydrogenase inhibitors (SDHI) tillhör FRAC-grupp 7 och verkar genom att hämma svampens respiration. De blockerar specifikt komplex II (succinatdehydrogenas) i den mitokondriella andningskedjan. Detta enzymkomplex, som består av fyra subenheter (SdhA, SdhB, SdhC och SdhD), spelar en central roll i citronsyracykeln genom att oxidera succinat till fumarat. SDHI-fungicidernas molekyl binder till ubiquinon-bindningstället på enzymet, vilket förhindrar reduktion av ubiquinon till ubiquinol vilket stoppar energiproduktionen (El Housni et al. 2023). SDHI-fungicider binder till den så kallade Qp-fickan som bildas av subenheterna B, C och D i enzymkomplexet. Hos flera viktiga skadesvampar som *Botrytis cinerea* och *Alternaria alternata*, har resistens uppstått genom specifika aminosyrabyten i subenheterna SdhB, SdhC och SdhD. Det leder till strukturella förändringar och förhindrar fungiciden att binda effektivt, ofta utan att påverka svampens fitness negativt (Sierotzki & Scalliet 2013). Studier av Sautua et al. (2020) har visat att *Cercospora* sp. uppvisar okänslighet mot SDHI-fungicider i laboratorietester men det finns inte några kända mutationer hos *C. beticola* kopplat till SDHI-resistens i dagsläget.

Användningen av SDHI-fungicider i sockerbetor är relativt ny jämfört med andra fungicid-grupper. De kan användas i produkter som innehåller både en SDHI och en annan grupp, exempelvis Propulse som innehåller protiokonazol (DMI) och fluopyram (SDHI) (Hoffmeister et al. 2024; Bayer 2025). Trots att SDHI har blivit en viktig komponent i växtskyddet för många andra grödor är det delade meningar om effektivitet mot just *C. beticola*.

FRAC 21 – QiI

QiI (Quinone inside Inhibitors) tillhör FRAC-grupp 21 och är en annan klass av respirationshämmare. Fungiciden verkar liknande som strobilurinerna (kvalitativt) men binder till ett annat ställe på insidan av membranet. Därför finns ingen korsresistens mellan fungicidklasserna (Biró et al. 2024). Det finns aminosyrabyten kopplade till fungicidresistens mot QiI-fungicider hos andra patogener (Sharma et al. 2025). Hos *Plasmopara viticola*, som är en patogen på vin, finns punktmutationen L201S men även en insertion av två aminosyror mellan kodon 203 och 204 (E203-DE-V2024) som är kopplade till resistens mot QiI (Sharma et al. 2025). *Zymoseptoria tritici*, som orsakar svartpricksjuka i vete, har punktmutationen G37V, som är kopplad till QiI-resistens, hittats i laboratorium (Kildea et al. 2022). I studien av Kildea et al. (2022) hittades däremot inte G37V i någon av de 127 prover från Irland, Tyskland, Belgien, Danmark, Sverige.

Biró et al. (2024) visar i en studie från Ungern att QiI-fungicider var signifikant bättre jämfört med standardfungiciden innehållande difenokonazol. Produkter som innehåller dessa substanser, exempelvis Univoq, är än så länge inte tillåtna för användning i svensk sockerbetsodling men används i stråsäd i Sverige (Corteva 2026).

2.3.2 Växtförädling i sockerbetor för att hantera *Cercospora beticola*

Historiskt sett har växtförädlingen av sockerbetor primärt fokuserat på att maximera sockerhalt och rotskörd. Motståndskraft mot sjukdommar har ofta varit sekundärt, delvis på grund av den negativa korrelationen mellan hög motståndskraft mot sjukdommar och avkastning på grund av biologisk ”trade off” (Chu et al. 2024). Under de senaste decennierna har dock klimatförändringar och förändrade odlingssystem gynnat patogener som *C. beticola*, betcystnematod (*Heterodera schachtii*), rhizoctonia (*Rhizoctonia solani*) och aphanomyces (*Aphanomyces cochlioides*) vilket lett till ökade skördeförkluster och skiftat fokus mot en säkrare sockerproduktion genom robusta toleranta sorter (Chu et al. 2024).

Källan till motståndskraft mot sjukdommar hos *C. beticola* hämtas främst från vilda släktingar. Särskilt strandbetan, *B. vulgaris subsp. maritima*, har varit avgörande för att införa resistensgener i kommersiella sorter. Andra arter inom

släktet, som *Beta procumbens*, har bidragit med gener för motståndskraft, men kan inte korsas med *B. vulgaris ssp. vulgaris* (Kaiser & Varrelmann 2009; Skaracis et al. 2010; Chu et al. 2024). Inom växtförädling är det skillnad på begreppen resistens och tolerans eftersom de beskriver olika mekanismer hur växten hanterar sjukdomsangrepp. Enligt Vogel et al. (2018) definieras resistens som växtens förmåga att hindra patogenens utveckling vilket resulterar i reducerade/uteblivna symptom jämfört med mottagliga sorter. Tolerans, å andra sidan, definieras som växtens förmåga att producera en hög skörd även när den är infekterad och uppvisar sjukdomssymptom (Hückelhoven & Pillen 2024). I fältförsök kan tolerans mätas genom skördeförlusten i sockerskörd utan fungicider för att veta sortens tolerans mot *C. beticola* (Vogel et al. 2018).

Traditionell växtförädling för ökad tolerans eller resistens mot *C. beticola* är kvantitativ och styrs av samverkan mellan flera gener, så kallade Quantitative Trait Loci (QTL). Minst fyra till fem viktiga QTL har identifierats som bidrar till resistens. Särskilt betydelsefulla är *qcr1* på kromosom III och *qcr4* på kromosom IX. Kromosom III är av extra intresse då där även finns resistensgener för andra viktiga sjukdomar så som rhizoctonia och aphanomyces (Setiawan et al. 2000; Taguchi et al. 2011; Tan et al. 2023). En betydande nackdel med denna metod för växtförädling är att dessa resistenta sorter presterat sämre på grund av ”trade off” jämfört med mottagliga sorter i frånvaro av sjukdomstryck. Även om nyare förädlingsframsteg har lyckats reducera denna negativa koppling mellan resistens och avkastning, har introduktionen av kvalitativa resistensgener (R-gener) inneburit en positiv förändring för trade offs vid växtförädling (Taguchi et al. 2011; Vogel et al. 2018).

Kvalitativ resistens baseras ofta på enskilda dominant gener som följer ”gene for gene”-modellen. I detta system kodar växtens R-gener för en receptor (ofta ett NB-LRR-protein) som känner igen en specifik effektor (avirulensprotein) från patogenen (Chen et al. 2024; Hückelhoven & Pillen 2024). Ett aktuellt exempel för *C. beticola* är resistensgenen BvCR4. Denna gen ger mycket hög resistensnivå och har visat sig fördröja angreppen avsevärt utan den historiska skördeförlust som associerats med äldre resistenskällor (Chen et al. 2024; Yang et al. 2025).

På grund av effektiviteten hos R-gener som BvCR4, medför användningen av kvalitativ resistens betydande risk för att patogenen bryter denna resistens, ofta benämnda som ”boom and bust”-cykler. När en resistent sort med en specifik R-gen används storskaligt i odlingen, skapas ett starkt selektionstryck på populationen (Chen et al. 2024; Hückelhoven & Pillen 2024). Nyligen har effektorgen AvrCR4 identifierats hos *C. beticola*, vilken är kopplad till R-genen BvCR4 i sockerbetan. För att undvika upptäckt och övervinna resistensen har *C. beticola* utvecklat mekanismer för att hindra denna interaktion, främst genom deletion av AvrCR4-genen eller genom punktmutationer som förändrar proteinets struktur. Chen et al. (2024) visar att isolat som saknar AvrCR4 selekteras fram

mycket snabbt i fält där BvCR4-resistenta sorter odlas. I populationer exponerade för BvCR4 saknade upp till 37% av isolaten effektorgen, jämfört med endast 1% i populationer som inte exponerats för resistensgenen. Detta tyder på att virulenta varianter redan fanns i låg frekvens i den naturliga genetiska variationen och kan snabbt dominera populationen under selektionstryck.

En kritisk faktor för varaktigheten av resistensgenen är om *C. beticola* drabbas av minskad fitness när den muterar för att bli virulent. Chen et al. (2024) visar att *C. beticola* som förlorat AvrCR4 genen inte uppvisar någon mätbar fitness-kostnad. Det innebär att virulenta stammar kan kvarstå i populationen även om odling av den specifika resistenta sorten upphör, vilket försvårar hanteringen av resistens på lång sikt.

För att motverka risken för att resistensen hos sorter med BvCR4 snabbt bryts ner, krävs strategier som inte förlitat sig på en enskild gen. Chu et al. (2025) har vid screening av vilda släktingar så som *B. vulgaris subsp. maritima*, identifierat ytterligare 42 resistensskällor kopplat till *C. beticola*. Genom att använda moderna tekniker som CRISPR/Cas9 kan dessa nya resistensgener potentiellt introduceras snabbare och mer precist (Hückelhoven & Schouten 2024; Misra et al. 2024). Dock kvarstår risken att även nya resistensgener leder till nya ”boom and bust”-cykler om de används enskilt. Därför bör kvalitativa R-gener kombineras med kvantitativ bakgrundsresistens för att skapa ett mer robust skydd som är svårare för *C. beticola* att övervinna genom enskilda mutationer (Chen et al. 2024; Hückelhoven & Pillen 2024).

2.3.3 Metoder för att studera känslighet och resistens mot fungicider som används mot *C. beticola*

För att effektivt övervaka och hantera resistensutveckling av *C. beticola* kombineras ofta fältstudier med laboriebaserade fenotypiska och genotypiska tester. Det ger en helhetsbild av hur patogenen uppför sig i fält men även i laboratorium (Kumar et al. 2021; Hoffmeister et al. 2024).

Fältförsök

Fältförsök utgör basen när sorters tolerans eller resistens och fungiciders effektivitet mot patogener testas. Eftersom naturliga infektioner kan variera i intensitet beroende på väder och mängd naturligt inokulum används ofta artificiell inokulering för att säkerställa högt och jämnt infektionstryck. Inokulum framställs vanligtvis på agarplattor med exempelvis V8-medium där man låter svampen växa och sporulera för att sedan artificiellt infektera försöken genom att spraya dem med sporsuspension (Kaiser & Varrelmann 2009).

Fenotypisk känslighetstest

För att undersöka svampens fenotypiska känslighet mot fungicider utförs ofta *in vitro* tester där EC50-värden beräknas (den dos där tillväxten hämmas med 50%). Det kan göras genom odling på agarplattor eller i flytande medium i mikrotiterplattor med koncentrationsgradienter av den fungicid som ska undersökas. Metoden kan anpassas efter fungicidens verkningsmekanism. För DMI-fungicider (triazoler) och MBC (metyl bensimidazol karbamater) som hämmar sterolsyntes respektive cellandning, bestäms myceltillväxten genom antingen radiell tillväxt på agarplattor med exempelvis V8 medium eller tillväxt i mikrotiterplattor i flytande medium, exempelvis PDB (Potato Dextrose Broth) eller jästbaserad media. Tomatjuice med vatten kan användas istället för V8-medium eftersom V8-medium till stor del innehåller tomatjuice (Bolton et al. 2012; Secor & Rivera 2012; Matsuzaki et al. 2021; Muellender et al. 2021; Hudec 2022). För strobiluriner, som påverkar respirationen och stoppar produktionen av ATP, kan det vara fördelaktigt att mäta hämning av sporgroning snarare än radiell tillväxt eftersom sporgroning är en mycket energikrävande process. Vidare bör SHAM (salicylhydroxamsyra) tillsättas för att blockera svampens alternativa respirationsvägar, vilka annars kan maskera känsligheten *in vitro* (Secor & Rivera 2012). Agarplattor inkuberas under cirka 14-17 dygn i ca 20 °C (Bolton et al. 2012; Secor & Rivera 2012; Matsuzaki et al. 2021).

Mikrotiterplattmetoden utförs i plattor med 96-brunnar och mäter den kvantitativa tillväxten genom optiska densitet (OD) i en spektrofotometer. OD kan mätas vid olika våglängder, och man kan använda sporer eller mycelfragment som startinokulum. Matsuzaki et al. (2021) mätte OD vid 600 nm och använde mycelfragment av storleken 30–120 mikrometer med koncentrationen 5×10^3 fragment/ml medan Muellender et al. (2021) mätte med 405 nm och använde sporer med en koncentration på 2×10^4 konider/ml som inokulum, vilket beräknades med en hemocytometer. Lien & Chanda (2025) har testat olika våglängder i spektrofotometern och använde sig av mycelfragment som homogeniserades med glaskulor för att sönderdela mycelet. De kom fram till att 490 nm var optimalt och använde sig av en mycelkoncentration på $2-3 \times 10^5$ mycelfragment/ml. För att mäta den kvantitativa tillväxten mäts med fördel OD innan plattan inkuberas och subtraheras sedan med OD-värdet som mäts efter inkubationen. Inkubationstiden kan variera mellan 4–6 dygn och 16–22°C för mikrotiterplattmetoden.

Genotypisk undersökning av mutationer i resistensgener

Molekylära metoder kan användas för att identifiera specifika mutationer kopplade till resistens eller minskad känslighet mot fungicider. Resistens mot MBC-fungicider är associerad med punktmutation (E198A) i β -tubulin-genen och för strobilurin-resistens är mutationen G143A i cytokrom b-genen (cytb) starkt

kopplad till fullständig fungicidresistens. DNA från *C. beticola* isolat kan extraheras och med specifika primrar kopplade till målgenen, sedan sekvenseras och därefter kontrollera sekvenserna om resistensmutationen är närvarande eller inte (Bolton et al. 2013; Trkulja et al. 2017; Hoffmeister et al. 2024).

Resistensmekanismerna mot DMI-fungicider är kvantitativa och därmed mer komplexa att undersöka genotypiskt. För att undersöka resistens eller minskad känslighet undersöks därför flera olika mutationer i Cyp51-genen som kodar för målenzymet sterol 14a-demetylas. Exempel på några mutationer är L144F, I309T och Y464S vilka är kopplade till minskad känslighet mot DMI-fungicider (Kumar et al. 2021; Hoffmeister et al. 2024). Utöver punktmutationerna behöver även överuttryck av Cyp51-genen undersökas, vilket kan göras av mRNA-nivåer i isolat som exponerats för fungicider med olika tekniker (Bolton et al. 2012). Det är även möjligt att genom helgenomssekvensering (GWAS) kartlägga den komplexa genetiska struktur som ligger bakom DMI-resistens (Chen et al. 2024).

2.3.4 Biostimulanter mot *C. beticola*

Som ett komplement till traditionella fungicider har användningen av biostimulanter, biologiska bekämpningsmedel och resistensinducerare fått ökad uppmärksamhet. Dessa verkar genom att stärka växtens egen motståndskraft eller genom att påverka patogenens livsmiljö negativt, snarare än att ett enbart verka direkt toxiskt på svampen. Exempel på biologisk bekämpning av cercospora är användning av bland annat bakterier inom släktet *Bacillus* (Wita et al. 2025) men även svampar som *Trichoderma spp.* som kan parasitera på *C. beticolas* övervintringsstruktur i jorden (Rangel et al. 2020; Tan et al. 2023).

Aquicine Duo och Nuvola OR är två biostimulanter som testades i NBR:s inokulerade fungicidförsök 2025. Aquicine Duo utnyttjar en dubbelverkande mekanism genom kombination av svavel och kaliumfosfater. Svavlet fungerar som en kontakverkande multisite-fungicid som stör svampens elektrontransport i mitokondrierna, vilket hämmar energiproduktionen hos *C. beticola*. Kaliumfosfaterna verkar systemiskt och fungerar dels genom direkt hämning av svampens metabolism, men främst genom att inducera växtens eget försvar (Systemic Acquired Resistance, SAR). Detta stärker cellväggarna och ökar produktionen av försvarsproteiner. Produkten kan blandas med fungicider och har testats mot svartpricksjuka i vete (*Zymoseptoria tritici*) i Frankrike (Syngenta 2023; Van Houtte 2025). Nuvola OR verkar i stället indirekt genom att stimulera växtens fysiologi. Den är baserad på extrakt av rödalger (*Kappap hycus alvarezii*), som är rika på polysackarider och betainer. Dessa ämnen fungerar som signalmolekyl som uppreglerar gener för rotutveckling och produktion av antioxidanter. Detta gör att växten mer effektivt kan hantera abiotisk stress såsom torka eller extrema temperaturer och optimerar näringsupptaget, vilket ger en mer robust göra under infektionstryck (FMC 2025).

3. Metod

Denna studie bestod av två delar: fältförsök och för laboratoriestudier.

3.1 Fältförsök

Fältförsöken bestod av inokulerade fältförsök som genomfördes under 2025.

3.1.1 Inokulerade fältförsök 2025

De inokulerade försöken var placerade på två lokaler i Skåne: Borgeby och Hellegården i Skepparslöv. Försöken inokulerades den 30 juni 2025 med isolat av *C. beticola* som samlats in under 2024 och var därför en mix av isolat från hela odlingsområdet i Skåne. Inokuleringen utfördes enligt standardmetoder beskrivna under 2.3.3. Sort- och fungicidförsöken på Hellegården inokulerades med full dos inokulum och försöket i Borgeby inokulerades med halv dos inokulum. För att säkerställa gynnsamma förhållanden för både sockerbetorna och *C. beticola* användes bevattning på båda försöksplatserna. Försöken genomfördes som randomiserade blockförsök med fyra upprepningar och etablerades samt hanterades enligt standarder för sockerbetsförsök om inget annat uppges.

I sortförsöket på Hellegården testades totalt åtta sorter varav sju är kommersiellt etablerade på den svenska marknaden. Den åttonde var en europeisk sort med tolerans mot *C. beticola*. Inga fungicidbekämpningar utfördes i sortförsöket. Det fanns ett sortförsök i Borgeby också men det utslöts på grund av dålig försökskvalité.

I fungicidförsöken på Hellegården och i Borgeby testades sju olika bekämpningsstrategier (Tabell 2) i en vanlig kommersiell sort. Alla fungiciderna i strategierna är godkända för användning i sockerbetor i Sverige, förutom Propulse. Två biostimulanter testades också: Aquicine Duo och Nuvola OR. Den första fungicidbekämpningen utfördes när de första symptomen observerades, vilket var den tredje veckan i juli och den andra bekämpningen utfördes tre veckor senare, vilket följer svenska rekommendationer för fungicidbekämpning i sockerbetor (Sockerbetor.nu 2025). Led 7 (Tabell 2), med Nuvola OR, behandlades även preventivt den 30 juni, före inokuleringen med *C. beticola*.

Tabell 2. Bekämpningsstrategierna med tillhörande FRAC-grupper som användes i fungicidförsöken där 2x betyder att bekämpningen utfördes två gånger och värdet framför preparatnamnet är dosen i l/ha.

Led	Bekämpningsstrategier	FRAC-grupp
1	Obehandlad	-
2	2x (0,3 Comet Pro + 1,5 Revyona)	11 + 3
3	2x (0,3 Comet Pro + 0,8 Propulse)	11 + 3, 7
4	2x 0,3 Comet Pro	11
5	2x (0,5 Amistar Gold)	11 + 3
6	2x (0,3 Comet Pro + 3,5 Aquicine Duo)	11
7	1 Nuvola OR + 2x (1 Nuvola OR + 0,3 Comet Pro)	11

Gradering och skörd av försöken samt statistisk analys av försöksdata

Försöken graderades okulärt veckovis. Sortförsöket graderades mellan vecka 29 och 39 och fungicidförsöken mellan vecka 31 och 39. Graderingen utfördes enligt en niogradig skala där 1 är helt symptomfri och 9 anger 100% symptom på bladytan. Försöken skördades och analyserades av Hushållningssällskapet enligt deras försöksstandard. Statistisk analys av skörderesultaten från försöken genomfördes med linjära mixade modeller med funktionen *lmer* i paketet *lme4* (Bates et al. 2015) i programvaran R 3.4.3 (R Core Team 2017) och för hantering av data från graderingarna användes Microsoft Excel.

3.2 Laborationer

Fenotypisk känslighet för fungicider bestämdes med *in vitro* på agarplattor och mikrotiterplattor på isolat 1–12, varav nio isolat var svenska och tre var danska, samtliga var från 2025. Förekomst av G143A mutationen i *cytb*-genen bestämdes på alla 48 isolaten. Isolaten kom främst från Sverige och Danmark 2024–2025, det fanns även enstaka isolat som var äldre och två från Tyskland (Tabell 3).

Tabell 3. Alla isolat som inkluderades i studien med information om insamlingsår och ursprungsland.

Isolat	År	Land	Isolat	År	Land
1	2025	Sverige	25	2023	Danmark
2	2025	Sverige	26	2024	Danmark
3	2025	Danmark	27	2014	Sverige
4	2025	Sverige	28	2024	Sverige
5	2025	Sverige	29	2024	Danmark
6	2025	Danmark	30	2024	Sverige
7	2025	Sverige	31	2024	Sverige
8	2025	Sverige	32	2010	Tyskland
9	2025	Sverige	33	2023	Danmark
10	2025	Sverige	34	2024	Sverige
11	2025	Sverige	35	2024	Danmark
12	2025	Danmark	36	2004	Sverige
13	2025	Danmark	37	2001	Tyskland
14	2025	Danmark	38	2024	Danmark
15	2025	Danmark	39	2024	Danmark
16	2025	Danmark	40	2024	Sverige
17	2025	Danmark	41	2024	Danmark
18	2025	Danmark	42	2025	Sverige
19	2025	Danmark	43	2025	Danmark
20	2025	Danmark	44	2025	Sverige
21	2025	Danmark	45	2025	Danmark
22	1985	Sverige	46	2025	Danmark
23	2024	Sverige	47	2025	Sverige
24	2024	Sverige	48	2025	Sverige

3.2.1 Fenotypisk känslighet på agar

Som odlingsmedium användes en modifierad V8-agar (80 ml tomatjuice, 320 ml avjoniserat- vatten samt 8 gram agar (20% juice-koncentration). Mediet steriliserades genom autoklivering och tempererades därefter till 50 °C i ett temperaturskåp före tillsats av fungicider. Totalt testades sex fungicider med olika koncentrationsgradienter (Tabell 4).

Tabell 4. FRAC-grupperna, aktiva substanserna samt koncentrationerna som användes till agarplattorna. Samtliga aktiva substanser kommer från Sigma Aldrich förutom mefentriflukonazol, där Revyona användes (BASF).

Aktiv substans	FRAC-grupp	Koncentrationer (mg/l)
Protiokonazol	3	10, 1, 0,1, 0,01, 0
Difenokonazol	3	10, 1, 0,1, 0,01, 0
Mefentriflukonazol	3	10, 1, 0,1, 0,01, 0
Pyraklostrobin	11	10, 0
Azoxystrobin	11	10, 0
Fluopyram	7	10, 0

De tekniska fungiciderna (Sigma-Aldrich) löstes initialt i aceton till en stamlösning om 100mg/ml och späddes därefter i aceton till en arbetslösning på 4 mg/ml. Den formulerade produkten mefentriflukonazol (Revyona, BASF, 75mg/ml) späddes med avjoniserat vatten till en motsvarande arbetslösning om 4mg/ml. För önskade målkoncentrationer (10; 1; 0,1; 0,01 och 0 mg/l) i agarn, genomfördes en spädningsserie. Vid den högsta koncentrationen (10 mg/l) tillsattes 1 ml arbetslösning till 399 ml agarblandning, vilket resulterade i en slutlig fungicidkoncentration i agarplattorna på 10 mg/l och en acetonkoncentration på 0,25% för de acetonlösta substanserna. Kontrollplattorna (0 mg/l) preparerades med motsvarande mängd aceton för att utesluta eventuella effekter från aceton på svampens tillväxt. Fungiciderna tillsattes i agarlösningen under konstant omrörning för att säkerställa en homogen lösning innan plattorna gjöts.

I arbetet inkluderades isolat 1–12 och på varje agarplatta användes en mycelplugg (5 mm i diameter) från respektive isolat som inokulum (Tabell 3). Varje kombination av isolat, fungicid och koncentration utfördes med två replikat. Samtliga plattor inkuberades vid 21°C i mörker under 20 dygn.



Figur 4. Agarplattorna vid mätning av inhibering av mefentriflukonazol på isolat 8 efter 20 dygn. Foto: Carl-Hugo Jonsson

Databearbetning och statistisk analys

Efter inkubationsperioden (20 dygn) mättes diametern av svampens mycel genom två vinkelräta mätningar och subtraherades med mycelpluggens diameter (5 mm), vilket gav en genomsnittlig tillväxt per isolat och koncentration (Figur 4).

Den statistiska analysen utfördes i R (version 4.5.2). För protiokonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol (FRAC grupp 3), beräknades EC50-värden med standardavvikelse samt det relativa standardfelet (RSE) genom fyrparameters log-logistisk modell (LL.4) med hjälp av paketet drc i R (Ritz et al. 2015). För att säkerställa biologisk relevans fixerades modellens nedre gräns till 0 (ingen hämning) och den övre gränsen till 100 (total hämning). RSE beräknades som kvoten mellan standardavvikelsen och EC50-värdet multiplicerat med 100 för att få en procentsats. Detta mått användes för att säkerställa att modellens precision var jämförbar mellan isolat och olika känslighetsnivåer.

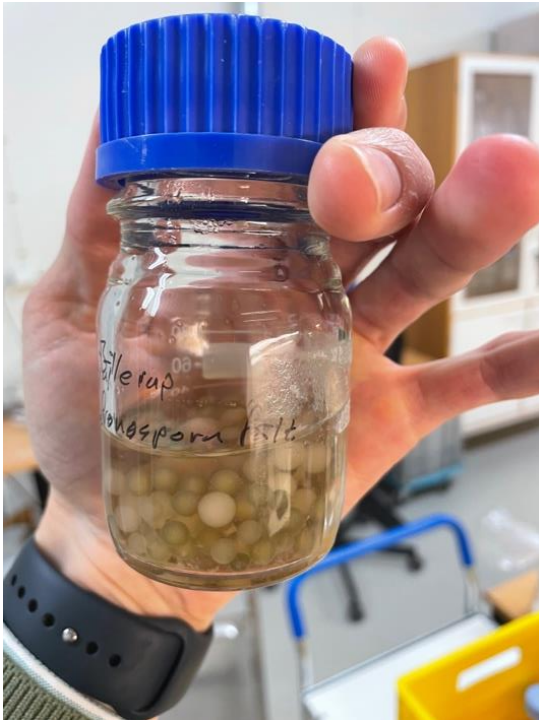
För azoxystrobin och pyraklostrobin (FRAC 11) och fluopyram (FRAC 7) användes endast koncentrationerna 0 och 10 mg/l (Tabell 4), därför utvärderades känsligheten diktomt. Isolat som uppvisade tillväxthämning överstigande 50% vid 10 mg/ml klassificerades som känsliga medan isolat med en hämning under 50% klassificerades som icke-känsliga (resistenta).

3.2.2 Mikrotiter-test

Metoder för test av fungicidkänslighet hos isolat 1–12 (Tabell 3) mot protiokonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol (FRAC-klass 3) på mikrotiterplattor utvecklades och testades.

Framställning och val av inokulum

Vid test av fungicidkänslighet enligt mikrotiterplattmetoden hos *C. beticola* kan inokulum bestå av antingen konidier eller mycel (2.3.3). I detta arbete valdes mycel som inokulum av två huvudsakliga skäl. För det första kräver produktion av sporer hos *C. beticola* specifika miljöförhållanden och är därför inte lika enkelt som att använda mycel. För det andra valdes mycel utifrån verkningsmekanismen hos de fungicider som ska testas vilket är DMI-fungicider (FRAC-klass 3) som hämmar ergosterolsyntesen, vilket är en kritisk process vid just myceltillväxt.

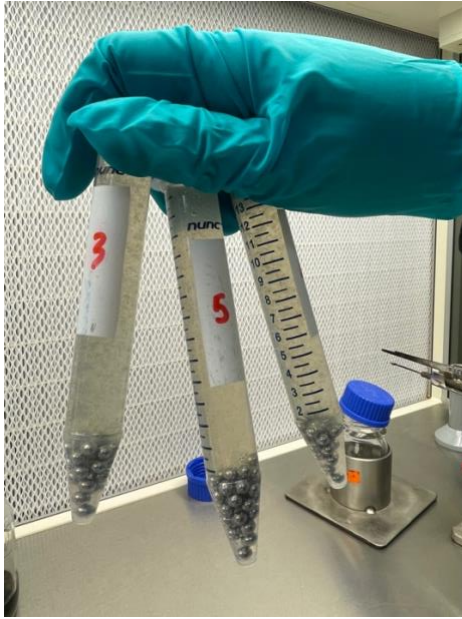


*Figur 5. Bild på mycelbollar av *C. beticola* som producerats i tomatjuice-medium under konstant omrörning, ljus och 25 °C i fyra dygn. Foto: Carl-Hugo Jonsson*

För att få fram rent inokulum användes mycelbollar som producerades genom att mycelpluggar från agarplatta överförts i flytande tomatjuicemedium i glasflaskor och sedan var under konstant ljus och rotation samt en temperatur på 25 °C i fyra dygn (Figur 5). Metoden med mycelbollar valdes framför användning av agarpluggar med mycel och konidier eftersom det säkerställer att endast rent mycel används och inga rester av agar men även eftersom det är smidigt och tidseffektivt att producera mycelbollar.

Utveckling av homogeniseringsmetod

En avgörande utmaning i metodutvecklingen var att finna en steril och praktisk metod att homogenisera mycelet till en homogen mycellösning med lämplig storlek på mycelfragmenten, framför allt eftersom det inte fanns någon homogeniseringsmaskin tillgänglig i NBR:s laboratorium. Matsuzaki et al. (2021) sönderdelade och homogeniserade mycelet med en mixer och med hjälp av silar med 120 och 20 mikrometer fick 30 - 120 mikrometers mycelfragment. Denna metod testades men avfärdades då det bedömdes som svårt att upprätthålla tillräcklig sterilitet under processen men även eftersom det var praktiskt svårt att sila mycelfragmenten.



*Figur 6. Bild på homogeniserat mycel med hjälp av metallkuler till mikrotiterplattorna.
Foto: Carl-Hugo Jonsson*

Den metod som slutligen valdes var mekanisk fragmentering med metallkuler (3mm diameter) i provrör av plast vilket efterliknar homogeniseringsmetod av Lien & Chanda (2025). Tre mycelbollar överfördes till 15 ml autoklaverat Potato Dextrose Broth (PDB) i provrör med sterila metallkuler (Figur 5; Figur 6). Genom vortex och skakning sönderdelades mycelbollarna till mindre fragment i en homogeniserad lösning. Även om exakt mycelkoncentration inte kunde fastställas på grund av för stora mycelfragment för en hemocytometer, bedömdes metoden ge tillförlitlig mängd inokulum. Det blev inte exakt samma mängd inokulum för alla isolat men däremot var det samma inom varje isolat.

Val av medium och våglängd

Tre olika flytande medier utvärderades: en jästmix, tomatjuicemedium samt PDB. PDB valdes för de slutliga försöken då den var enklast att arbeta med och upplevades ge mest tillförlitligt resultat. Våglängderna 450 nm och 620 nm fanns att tillgå på NBR:s spektrofotometer och båda testades därför, utifrån vad testplattorna visade och vad Lien & Chanda (2025) beskriver i deras studie valdes 450 nm för testet på isolat 1–12.

Fungicider och koncentrationer

Av de tre DMI-fungiciderna protiokonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol som testades var protiokonazol och difenokonazol lösta i aceton (100mg/ml) (Sigma Aldrich). Den kommersiella produkten Revyona (75mg/ml, BASF) användes för mefentriflukonazol. För att se skillnader i känslighet och

möjligheten att beräkna EC50-värden användes en logaritmisk spädningsserie av fungiciderna (Tabell 5).

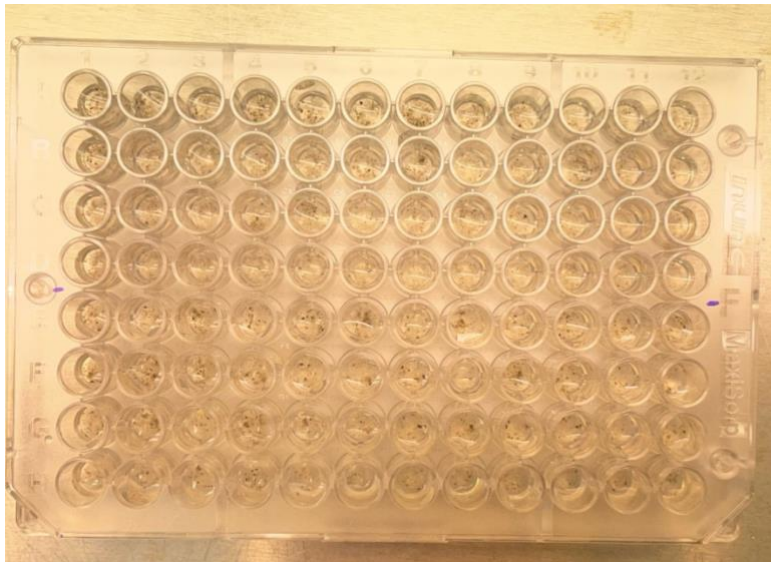
Tabell 5. FRAC-grupperna, aktiva substanserna samt koncentrationerna som användes till mikrotiterplatt-testet. Samtliga aktiva substanser kommer från Sigma Aldrich men mefentriflukonazol kommer från Revyona (BASF).

Aktiv substans	FRAC-grupp	Koncentrationer (mg/l)
Protiokonazol	3	100, 10, 1, 0,1, 0
Difenokonazol	3	100, 10, 1, 0,1, 0
Mefentriflukonazol	3	100, 10, 1, 0,1, 0

I de första testen med mikrotiterplattorna användes 0,01mg/l som lägsta koncentration, samma som för agarplattorna, men det bedömdes som för lågt för att hämma isolaten. Därför användes en spädningsserie med intervallet 100; 10; 1; 0,1; 0 mg/l. För de acetonlösta fungiciderna användes acetonkontroll med 0,5% aceton för att säkerställa att acetonet inte påverkade svampens tillväxt negativt eftersom acetonhalten i brunnarna blev 0,5% vid fungicidkoncentrationen 100mg/l.

Känslighetstestet på isolat 1–12 med mikrotiterplattmetoden

Testet utfördes i 96-brunns mikrotiterplattor (Figur 7). Varje kombination av isolat och fungicidkoncentration testades med tre brunnar (replikat). Till varje brunn tillfördes 120 µl mycel-lösning (Figur 6) och 30 µl fungicidlösning för önskad målkoncentration i brunnarna.



Figur 7. Bild på en mikrotiterplatta vid det fenotypiska känslighetstestet av DMI-fungiciderna. Foto: Carl-Hugo Jonsson

Plattorna inkuberades i fyra dygn under totalt mörker och 21 °C. Absorbansen mättes vid 450 nm precis innan inkubering och efter fyra dygn. Genom att subtrahera absorbansvärdet av första mätningen från andra mätningen eliminerades bakgrundsbrus från vätskan och andra partiklar vilket resulterade i att den ökade absorbansen endast gav ren myceltillväxt av *C. beticola*.

Statistisk analys

Data sammanställdes i Microsoft Excel för att beräkna medelinhibering mot kontrollen per fungicid, koncentration och isolat. För alla isolat med medelinhibering över 50% beräknades EC50-värdena med standardavvikelse samt det relativa standardfelet (RSE) i programvaran R version 4.5.2 (R Core Team 2025). Beräkningarna genomfördes med paketet *drc* med en fyraparameters log-logistisk modell (LL.4) (Ritz et al. 2015). Modellen fixerades med en nedre gräns på 0 (ingen hämning) och en övre gräns på 100 (total hämning).

3.2.3 Genotypisk undersökning av G143A mutationen med Sanger-sekvensering

Totalt 48 isolat inkluderades i undersökningen (Tabell 3). Mycel till DNA-extraktionen togs från mycelbollar som odlats i flytande tomatjuice-medium under konstant rotation i 4 dygn och 25 °C (Figur 5). Mycelbollarna överfördes till provrör med glaskulor och frystorkades i -83 °C under 48 timmar för att sedan homogeniseras. DNA extraherades med maskinen Maelstrom 4800 tillsammans med NucleoMag® DNA Plant kit enligt tillverkarens instruktioner. DNA-koncentrationer i de extraherade proverna mättes med Qubit™. Samtliga DNA-prover späddes till slutkoncentrationen av 1 ng μL^{-1} .

För att identifiera mutationer kopplade till fungicidresistens amplifierades genen *cytb* där G143A mutationen är belägen. Samtliga reaktioner genomfördes i en totalvolym om 25 μL i en VeritiPro 96-wll Thermal Cycler PCR-maskin. För att kontrollera eventuell kontaminering användes en negativ kontroll (NTC) i varje körning. För *cytb*-genen användes primrarna 738 *cytb* F och 739 *cytb* R (Tabell 6) och standard PCR-mix med PCR-programmen i Tabell 7.

Tabell 6. Primrarna som användes vid PCR (Bolton et al. 2013)

Primer	Sekvens
738 <i>cytb</i> F	5'-CAGCTTCAGCATTTTTCTTCTT-3'
739 <i>cytb</i> R	5'-TGGCAGAAAACATAGCAATAACA-3'

Tabell 7. PCR-programmen som kördes för primrarna 738cytbF och 739cytbR.

	Steg 1		Steg 2			Steg 3
Temperatur	95°C	95°C	60°C	72°C	72°C	15°C
Tid	0:05:00	0:00:30	0:00:30	0:00:30	0:07:00	∞
Antal cykler	1x		35x			1x

För att kontrollera att amplifieringen fungerade utfördes gelelektrofores i 1% agarosgel vid 300V och 180 mA under 20 minuter. PCR-produkterna renades därefter med Sera-MagTMmagnetic carboxylate beads. De renade produkterna skickades till Macrogen Europe för Sanger-sekvensering. Sekvenserna av alla isolat lästes sedan av med SeqMan Ultra med vildtypen "EF176921.1" hämtad från GenBank som referens. Sekvensen "CAA ATG TCT TTA TGA" är nukleotid-sekvensen precis innan de tre nukleotiderna som kodar för G143A-aminosyran och användes därför för att hitta G143A mutationen i SeqMan Ultra.

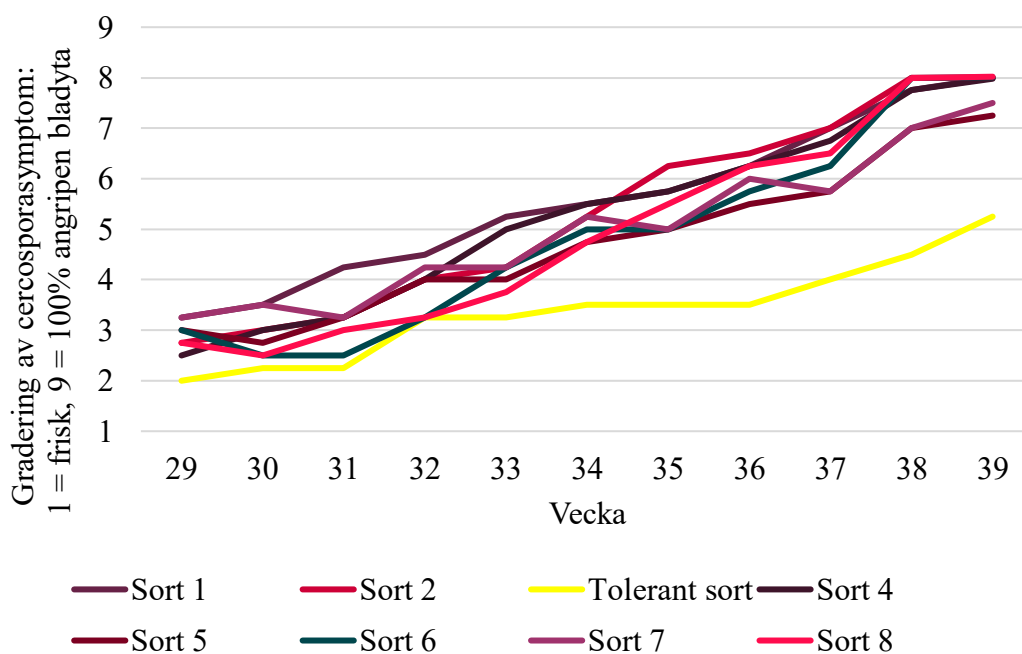
4. Resultat

4.1 Inokulerade fältförsök

Resultat från graderingar samt skörd från inokulerade sort- och fungicid-försök. Odlingsåret 2025 var gynnsamt för sockerbetsodlingen med höga sockerskördar. Angreppen av bladsvamparna betrost, mjöldagg och ramularia var normala medan angreppen av cercospora var kraftigare än normalt (Figur 1), speciellt i bevattnade områden.

4.1.1 Inokulerade sortförsöket

Graderingsresultatet från det inokulerade sortförsöket visade att den toleranta sorten var mer motståndskraftig mot cercospora än de sju svenska marknadssorterna som testades (Figur 8). Den toleranta sorten hade från v.32 inte lika snabb utveckling av symptom på bladen jämfört med de svenska marknadssorterna. Trenden var genomgående fram till graderingens slut v.39 då den toleranta sortens bladmassa hade en genomsnittlig gradering på 5,25 medan de kommersiella sorterna låg mellan 7,25 och 8. De kommersiella sorternas utveckling av symptom över tid följde varandra från graderingens start till slut och det var inga större skillnader i angreppsgrad eller angreppshastighet mellan sorterna.



Figur 8. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025. Graferna visar graderingsresultat från sju svenska marknadssorter från olika fröfirmor samt en cercosporatolerant sort.

Skillnaderna på angrepp av cercospora på bladmassan mellan den toleranta sorten och marknadssorterna v.39 syns tydligt i Figur 9. Angrepp av andra bladsvampar som betrost, mjöldagg och ramularia fanns men var väldigt svaga på grund av kraftiga angrepp av cercospora och graderades inte.



Figur 9. Bild från det inokulerade sortförsöket på Helgegården vecka 39. Mitt i bilden syns parcellen med tolerant sort och i parcellerna till vänster och höger är det vanliga kommersiella sorter. Foto: Carl-Hugo Jonsson

I det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025 fanns tydliga signifikanta skillnader mellan sorterna ($p < 0,0001$). Försöket visade låga variationskoefficienter (CV) för sockerskörd som var 5,2%. Den toleranta sorten hade högst sockerskörd (15,9 t/ha) vilket är signifikant högre än alla de andra sorterna förutom sort 6 (14,8 ton/ha) eftersom LSD-värdet är 1,3. Sockersköörden för marknadssorterna varierade mellan 13,6 och 14,8 (t/ha) och därmed fanns inga signifikanta skillnader på sockersköörden mellan marknadssorterna. LSD värdet för sockerhalten var 0,9 och den toleranta sorten hade högst sockerhalt (16,4%), därmed signifikant högre än sort 1, 5, 6 och 8. Inga signifikanta skillnader observerades mellan marknadssorternas sockerhalt. Den toleranta sorten hade högst rotskörd (96,7 t/ha) vilket var signifikant högre än sort 2, 4 och 7 men inte signifikant jämfört med sort 1, 5, 6 och 8.

Tabell 8. Skörderesultat från det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%) och sockerskörd (t/ha) presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde.

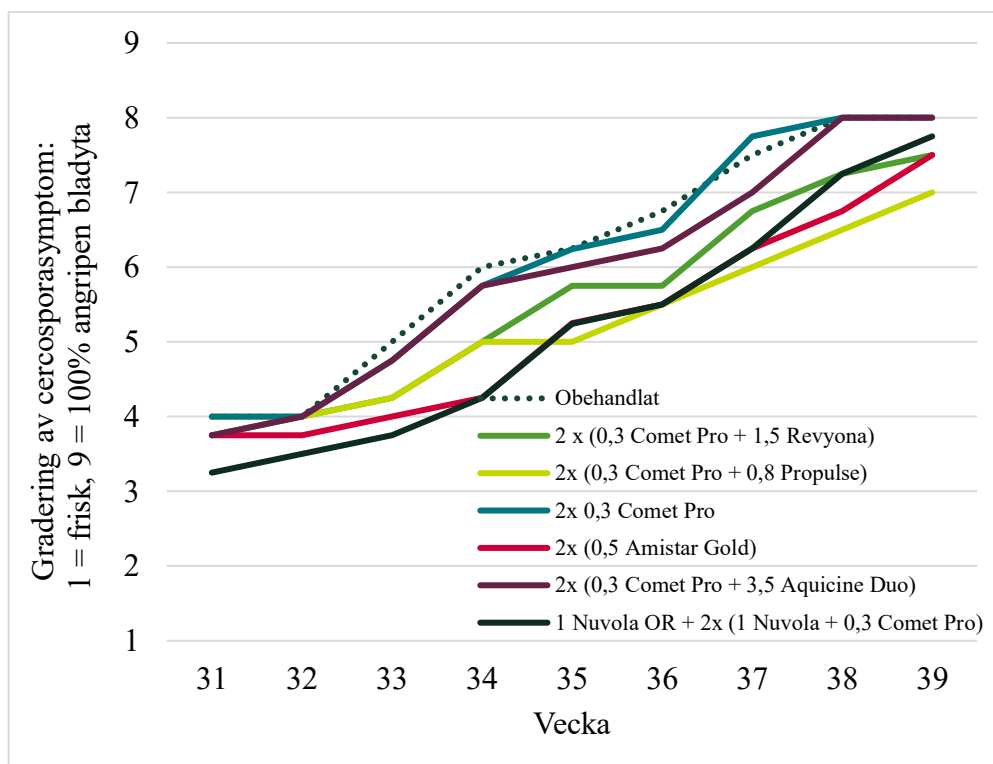
Sorter	Rotskörd (t/ha)	Sockerhalt (%)	Sockerskörd (t/ha)
Sort 1	89,3	15,2	13,7
Sort 2	86,1	16,0	13,9
Tolerant sort	96,7	16,4	15,9
Sort 4	86,8	16,0	13,6
Sort 5	95,3	15,5	14,6
Sort 6	94,7	15,5	14,8
Sort 7	86,9	16,0	13,9
Sort 8	92,1	15,4	14,2
LSD	8,1	0,9	1,3
CV	5,4	3,7	5,2
p-värde	<0,0001	<0,0001	<0,0001

4.1.2 Inokulerade fungicidförsöken

Här presenteras gradering- och skörderesultat från inokulerade fungicidförsök från två lokaler i Skåne samt sammanslagning av lokalerna.

Gradering- och skörderesultat för fungicidförsöket på Helgegården

Alla leden visade ökande symptom av cercospora över tid och med liknande utvecklingshastighet under säsongen. Det obehandlade ledet fick kraftigare symptom tidigare på säsongen vilket även leden med Comet Pro och (Comet Pro + Aquinice Duo) fick. Det skiljde sig mot leden med (Comet pro + Revyona, (Comet Pro + Propulse), Amistar Gold och (Comet Pro + Nuvola) som från och med v.32 fram till v.39 visade lägre andel symptom. Ledet med (Comet Pro + Propulse) hade minst symptom vid sista graderingen.



Figur 10. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i inokulerat fungicidförsök på Helgegården 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehandlingarna mot bladsvampar i sockerbeter i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.

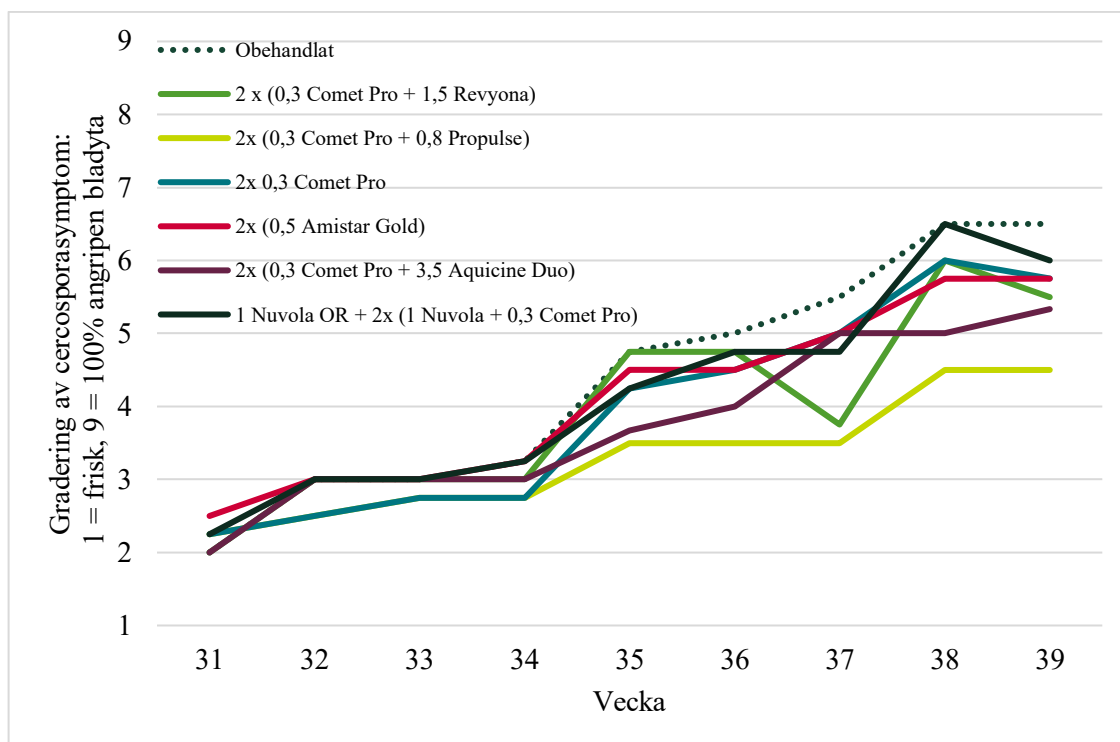
I fungicidförsöket på Helgegården fanns statistiska skillnader för rotskörd och sockerskörd ($p < 0,05$) medan inga signifikanta skillnader påvisades för sockerhalt (Tabell 9). Led 2, 3 och 5 hade signifikant högre sockerskörd än obehandlat (LSD 1,4) och därmed 11%, 15% och 12% högre sockerskörd än obehandlat. De hade även högre sockerhalt än obehandlat men inte signifikant. Led 3 var det enda ledet som hade signifikant (LSD 7,1) högre rotskörd (100,4 t/ha) än obehandlat (89,8 t/ha). Led 4 och 6 hade lägre rotskörd och sockerskörd jämfört med obehandlat men utan signifikans.

Tabell 9. Skördedata från fungicidförsöket på Hellegården 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativt presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.

Led	Behandling	Rotskörd (t/ha)	Sockershalt (%)	Sockerskörd (t/ha)	Relativ
1	Obehandlad (R)	89,8	15,1	13,6	100
2	2x (0,3 Comet Pro + 1,5 Revyona)	96,7	15,6	15,1	111
3	2x (0,3 Comet Pro + 0,8 Propulse)	100,4	15,6	15,6	115
4	2x 0,3 Comet Pro	87,3	15,0	13,1	96
5	2x (0,5 Amistar Gold)	96,1	15,8	15,2	112
6	2x (0,3 Comet Pro + 3,5 Aquicine Duo)	88,2	15,2	13,4	99
7	1 Nuvola OR + 2x (1 Nuvola + 0,3 Comet Pro)	91,4	15,5	14,2	105
LSD		7,1	ns	1,4	
CV		5,6	3,0	6,9	
p-värde		<0.05	0,172	<0.05	

Gradering- och skörderesultat för fungicidförsöket i Borgeby

Alla led hade en ökande utveckling av cercosporasymptom under säsongen (Figur 11) och vid v.34 utmärkte sig leden med Comet Pro + Propulse och Comet Pro + Aquicine Duo genom att de inte fick lika kraftig ökning av symptom som de andra leden. Vid graderingens slut hade det obehandlade ledet kraftigast symptom medan ledet med (Comet Pro + Propulse) har lägst andel symptom. De andra leden har liknande mängd symptom.



Figur 11. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk, 9=100% angripen bladyta i inokulerat fungicidförsök i Borgeby 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehandlingarna mot bladsvampar i sockerbetor i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.

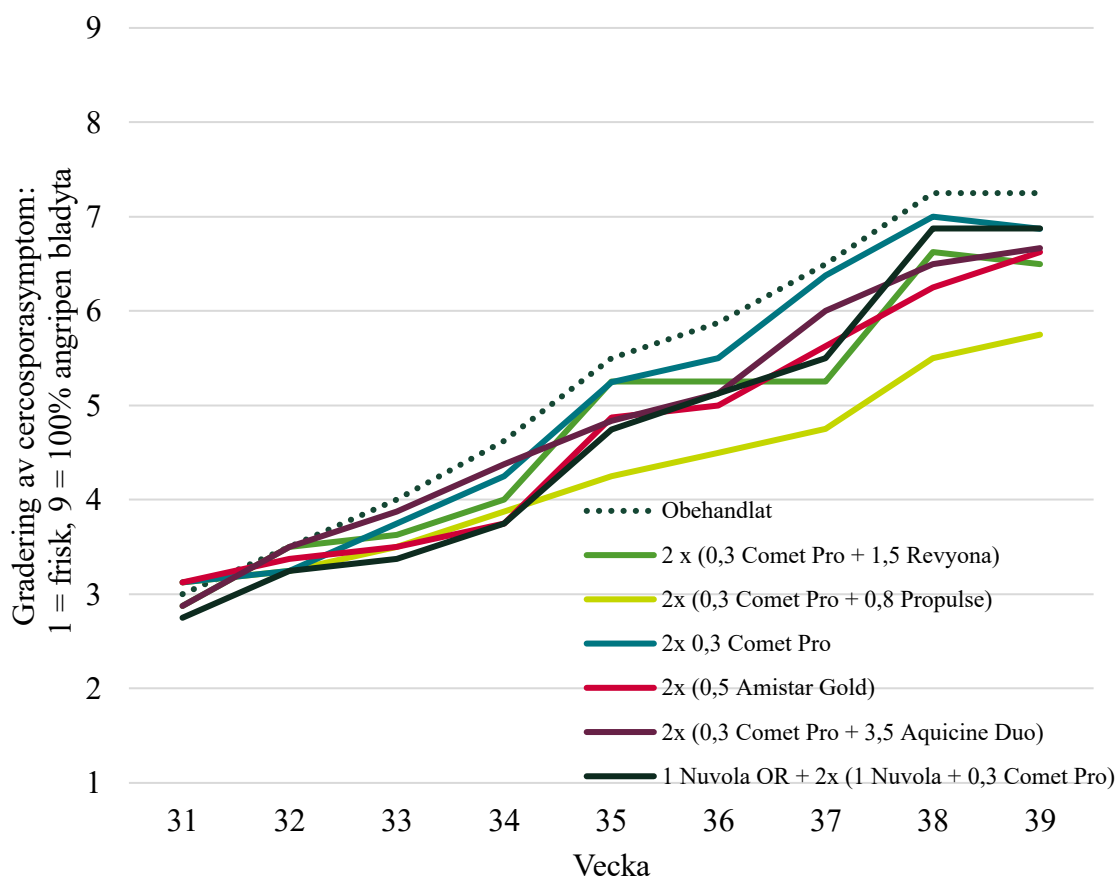
I det inokulerade fungicidförsöket i Borgeby, där halv dos inokulum användes vid inokulering, fanns inga statistiska säkerställda skillnader mellan leden (Tabell 10). Försöket hade hög kvalitet med CV-värden under 5% men inga p-värden <0,05. Led 2 (19,7 t/ha) och led 3 (19,2 t/ha) hade 8% respektive 5% högre sockerskörd jämfört med obehandlat (16,9 t/ha). Vidare hade även led 2 (17,4%) och led 3 (17,3%) högst sockerhalter medan led 5 lägst (16,6%), en skillnad med 0,8 och 0,7 procentenheter, dock utan signifikans. Led 4 och 5 hade två respektive tre procentenheter lägre sockerskörd än obehandlat (utan signifikans).

Tabell 10. Skördedata från fungicidförsöket i Borgeby 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativtal presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.

Led	Behandling	Rotskörd (t/ha)	Sockerhalt (%)	Sockerskörd (t/ha)	Relativ
1	Obehandlad (R)	108,0	16,9	18,3	100
2	2x (0,3 Comet Pro + 1,5 Revyona)	113,7	17,4	19,7	108
3	2x (0,3 Comet Pro + 0,8 Propulse)	110,7	17,3	19,2	105
4	2x 0,3 Comet Pro	104,7	17,0	17,8	97
5	2x (0,5 Amistar Gold)	108,2	16,6	17,9	98
6	2x (0,3 Comet Pro + 3,5 Aquicine Duo)	111,1	17,0	18,9	103
7	1 Nuvola OR + 2x (1 Nuvola + 0,3 Comet Pro)	110,3	17,0	18,7	102
LSD		ns	ns	ns	
CV		3,5	2,1	4,7	
p-värde		0,167	0,142	0,115	

Gradering- och skörderesultat, båda fungicidförsökslokalerna

Sammanslagning av graderingsresultat från båda lokalerna (Figur 12) visade en genomgående trend med kraftigare cercosporasymptom desto längre säsongen gick. Ledet med Comet Pro + Propulse hade från och med v.34 fram till v.39 minst symptom. Det obehandlade ledet hade marginellt kraftigast symptom från v.32 till v.39. De övriga bekämpningsleden följde samma trend i utveckling av symptom över säsongen som obehandlat och vid v.39 låg de närmre obehandlat i andel symptom än ledet med Comet Pro + Propulse.



Figur 12. Veckovisa graderingar av cercosporasymptom med skalan 1–9 där 1=frisk och 9=100% angripen bladyta i båda de inokulerade fungicidförsök från 2025. Graferna visar obehandlat led, de rekommenderade fungicidbehandlingarna mot bladsvampar i sockerbetor i Sverige samt Propulse och två biosimulanter; Aquicine Duo och Nuvola.

De sammanslagna resultaten från båda lokalerna (Hellegården och Borgeby) visade signifikanta skillnader för rotskörd och sockerskörd ($p < 0,05$) men inte för sockerhalt (Tabell 11). Kvaliteten på försöken var god med CV-värden mellan 2,7% och 6,0%. Led 2 (105,2 t/ha) och led 3 (105,6 t/ha) hade signifikant högre rotskörd än obehandlat (98,8 t/ha). Sockerskörden var också signifikant högre ($p < 0,05$ med LSD 1,0) jämfört med det obehandlade ledet (15,9 t/ha) för led 2 (17,4 t/ha) och för led 3 (17,4 t/ha). Led 5 (16,7 t/ha) och för led 7 (16,5 t/ha) hade signifikant högre skörd jämfört med led 4 (15,4 t/ha) och även högre än obehandlat men utan signifikans.

Tabell 11. Skördedata från båda inokulerade fungicidförsöken 2025. Rotskörd (t/ha), sockerhalt (%), sockerskörd (t/ha) och relativt presenteras med tillhörande LSD-, CV- och p-värde. Led 1, obehandlad (R), är referensledet.

Led	Behandling	Rotskörd (t/ha)	Sockerhalt (%)	Sockerskörd (t/ha)	Relativ
1	Obehandlad (R)	98,8	16,0	15,9	100
2	2x (0,3 Comet Pro + 1,5 Revyona)	105,2	16,5	17,4	109
3	2x (0,3 Comet Pro + 0,8 Propulse)	105,6	16,5	17,4	109
4	2x 0,3 Comet Pro	96,0	16,0	15,4	97
5	2x (0,5 Amistar Gold)	102,5	16,2	16,7	105
6	2x (0,3 Comet Pro + 3,5 Aquicine Duo)	99,1	16,1	16,0	101
7	1 Nuvola OR + 2x (1 Nuvola + 0,3 Comet Pro)	100,8	16,3	16,5	104
LSD		4,7	ns	1,0	
CV		4,8	2,7	6,0	
p-värde		<0.05	0,133	<0.05	

4.2 Fungicidresistens

Här presenteras resultat från fenotypiskt känslighetstest mot protikonazol, difenokonazol, mefentriflukonazol, azozystrobin, pyraklostrobin och fluopyram med agarplattmetod på isolat 1–12 (Tabell 3). Vidare presenteras även resultat från fenotypiskt känslighetstest mot protikonazol, difenokonazol, mefentriflukonazol med mikrotiterplattmetod på isolat 1–12 (Tabell 12; Tabell 14). Även resultat från Sanger-sekvensering på isolat 1–48 (Tabell 16) där punktmutationen G143A i cytb-genen har undersökts.

4.2.1 Fenotypisk känslighet enligt agarplattmetoden

Fenotypisk känslighet för DMI-fungicider på agarplattor

Fenotypisk känslighet, vilket för denna metod visualiserades med EC50-värden (<10mg/l), testades på isolat 1–12 (Tabell 3) mot de aktiva substanserna protikonazol, difenokonazol och mefentriflukonazol. EC50-värden med standardavvikelser för alla tre aktiva substanser presenteras i Tabell 12. Av de tolv testade isolaten med agarplattmetoden uppvisades känslighet mot protikonazol hos isolat 3 (EC50 = 3,87 mg/l) och isolat 10 (EC50 = 4,86 mg/l). För difenokonazol var isolat 2, 3, 6, 8, 10 och 11 känsliga med EC50-värden från 0,45 mg/l till 4,53 mg/l (Tabell 12). Vidare var också isolat 3, 6, 8, 10 och 11

känsliga mot mefentriklukonazol med EC50-värden mellan 0,51 mg/l till 8,66 mg/l.

Tabell 12. EC50-värden och standardavvikelser för isolat 1–12 beräknade i R för protikonazol, difenokonazol och mefentriklukonazol från agarplattmetod med fungicidkoncentrationerna 10; 1; 0,1; 0,01; 0 mg/l.

Isolat	Pro EC50 (mg/l)	std	Dif EC50 (mg/l)	std	Mef EC50 (mg/l)	std
1	>10	-	>10	-	>10	-
2	>10	-	3,65	0,88	>10	-
3	3,87	2,58	0,70	0,18	6,29	1,32
4	>10	-	>10	-	>10	-
5	>10	-	>10	-	>10	-
6	>10	-	1,55	0,37	3,13	0,63
7	>10	-	>10	-	>10	-
8	>10	-	0,45	0,10	0,51	0,09
9	>10	-	>10	-	>10	-
10	4,86	3,07	2,35	0,47	8,66	2,00
11	>10	-	4,53	1,26	5,89	1,42
12	>10	-	>10	-	>10	-

Standardavvikelserna för difenokonazol (Tabell 12) var generellt låga och med RSE-värden mellan 20% och 28% (Tabell 13) vilket påvisade tillförlitliga EC50-värden för difenokonazol. Vidare var RSE-värdena för mefentriklukonazol också inom liknande intervall som för difenokonazol även där påvisade tillförlitliga resultat. Protiokonazol hade RSE-värden på 63% och 67% vilket innebar att EC50-värdena inte var lika tillförlitliga som för difenokonazol och mefentriklukonazol.

Tabell 13. Det relativa standardfelet (RSE) beräknat från EC50-värden och standardavvikelse för protikonazol, difenokonazol och mefentriklukonazol på agarplattmetoden.

Isolat	RSE Pro	RSE Dif	RSE Mef
2	67%	24%	-
3	-	25%	21%
6	-	24%	20%
8	63%	21%	17%
10	-	20%	23%
11	-	28%	24%

Fenotypisk känslighet för strobiluriner samt SDHI på agarplattor

Fungicidresistens mot de aktiva substanserna azoxystrobin (del i Amistar Gold) och pyraklostrobin (Comet Pro) samt fluopyram (del i Propulse) testades på isolat 1–12 (Tabell 3) genom agarplattmetoden (3.2.1). För fluopyram (SDHI) hade alla isolat en inhibering <50% vid 10 mg/l och var därför inte känsliga för den aktiva substansen. För azoxystrobin och pyraklostrobin visade alla isolat utom isolat 3 en inhibering <50% vid 10mg/l vilket betydde att de inte var känsliga mot dessa. Isolat 3 hade inhiberingen 55% och för pyraklostrobin 52% vid 10 mg/l för azoxystrobin. Eftersom endast koncentrationerna 0 mg/l och 10 mg/l testades kunde inget trovärdigt EC50-värde beräknas på grund av för få mätpunkter.

4.2.2 Fenotypisk känslighet enligt mikrotiterplattmetoden

I Tabell 14 visas EC50-värdena från mikrotiterplattmetoden med standardavvikelser som indikerade hur säkra EC50-värdena var. Isolat 1 var enligt mikrotiterplattmetoden extremt känsligt för mefentriflukonazol, EC50-värde kunde ej beräknas då inhiberingen vid lägsta koncentrationen (0,1mg/l) var 81%. Det var stor skillnad i känslighet mellan isolaten och de tre DMI-fungiciderna. Isolaten uppvisade generellt lägst känslighet mot protikonazol med EC50-värden på 18,1 mg/l för isolat 6 och 16,5 mg/l för isolat 7. Alla andra isolat bedömdes inte vara känsliga mot protikonazol med EC50-värden >100 mg/l. Isolaten uppvisade kraftigast känslighet mot mefentriflukonazol där isolat 1, 8, 9, 10 och 11 hade EC50-värden under 1 mg/l. Isolaten uppvisade liknande känslighet mot difenokonazol men med lite högre EC50-värden än mefentriflukonazol. Isolat 2, 4 och 5 var inte känsliga mot difenokonazol och isolat 2, 4 och 5 var inte känsliga mot mefentriflukonazol med EC50-värden > 100mg/l. Isolat 2 och 5 var de enda isolaten som inte var känsliga mot någon av de tre DMI-fungiciderna.

Tabell 14. EC50-värden och standardavvikelser för isolat 1–12 beräknade i R för protiokonazol, difenokonazol och mefentriplukonazol från mikrotiterplattmetod med fungicidkoncentrationerna 100; 10; 1; 0,1; 0 mg/l.

Isolat	Pro EC50 (mg/l)	std	Dif EC50 (mg/l)	std	Mef EC50 (mg/l)	std
1	>100	-	0,58	0,47	<0,1	-
2	>100	-	>100	-	>100	-
3	>100	-	50,1	33,4	10,2	9,14
4	>100	-	>100	-	4,16	3,86
5	>100	-	>100	-	>100	-
6	18,1	6,52	47,3	19,3	>100	-
7	16,5	9,66	19,6	12,8	11,8	11,5
8	>100	-	4,34	3,94	0,19	0,41
9	>100	-	1,81	1,48	0,10	0,20
10	>100	-	3,74	3,16	0,10	0,17
11	>100	-	12,3	6,01	0,73	0,63
12	>100	-	26,2	17,0	41,9	20,7

Variationen i skattningen av EC50-värdena varierade avsevärt, vilket återspeglades i de beräknade standardavvikelserna och de relativa standardfelen (Tabell 14; Tabell 15). RSE-värdena för isolat 6 (36%) och 7 (59%) var bland de lägre RSE värdena i testet. För difenokonazol var RSE-värdena mellan 41% och 91% samtidigt som mefentriplukonazol hade högre och större spridning på RSE-värdena. De var mellan 49% och 216% där isolat 8, 9 och 10 hade värden över 170%. De höga RSE-värdena indikerade att de beräknade EC50-värdena var statistiskt instabila och därmed mindre tillförlitliga.

Tabell 15. Det relativa standardfelet (RSE) beräknat från EC50-värden och standardavvikelse för protiokonazol, difenokonazol och mefentriplukonazol på mikrotiterplattmetoden.

Isolat	RSE Pro	RSE Dif	RSE Mef
1	-	81%	-
3	-	67%	90%
4	-	-	93%
6	36%	41%	-
7	59%	65%	97%
8	-	91%	216%
9	-	82%	200%
10	-	84%	170%
11	-	49%	86%
12	-	65%	49%

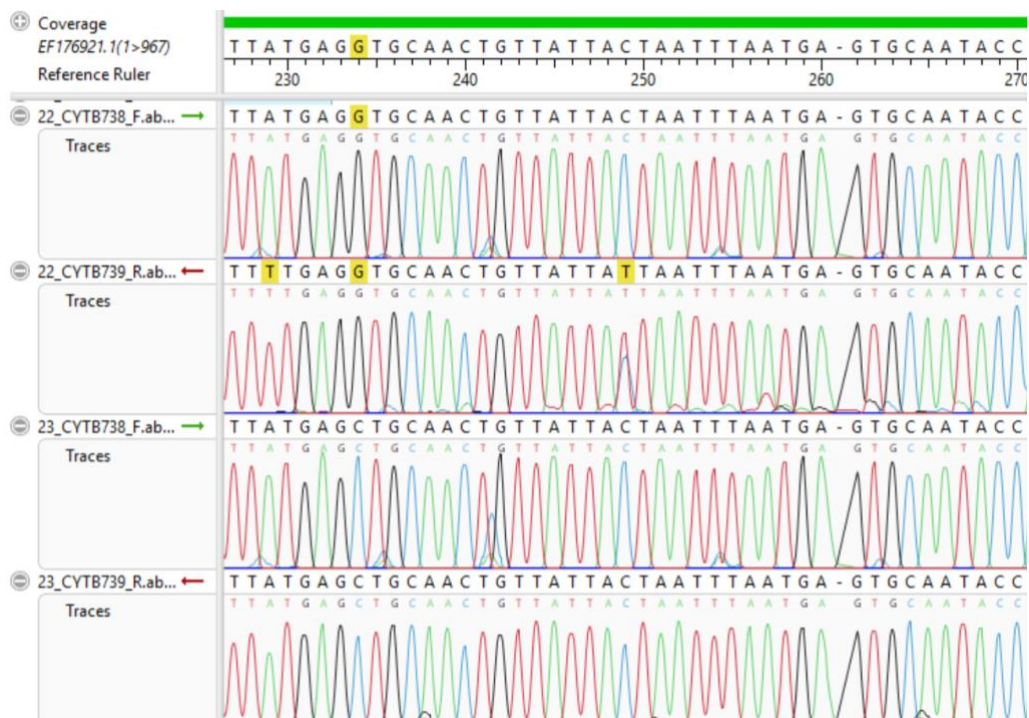
4.2.3 Sanger-sekvensering av cytb-genen

Sanger-sekvensering av cytb-genen utfördes på 48 isolat av *C. beticola* för att undersöka om G143A-mutationen fanns. Resultaten i Tabell 16 visade att av de 48 analyserade isolaten uppvisade majoriteten (44) den specifika G143A-mutationen GGT → GCT. Alla isolat från 2025 bar på G143A mutationen och även alla från 2024 förutom isolat 30. Även ett isolat från Tyskland 2010 (isolat 32) bar på mutationen medan isolat 22, 36 och 37 inte hade punktmutationen.

Tabell 16. Alla 48 isolat som testats om G143A-mutationen i cytb-genen är närvarande. Även vilket land och år som isolatet är ifrån.

Isolat	Mutation i cytb	År	Land	Isolat	Mutation i cytb	År	Land
1	G143A	2025	Sverige	25	G143A	2023	Danmark
2	G143A	2025	Sverige	26	G143A	2024	Danmark
3	G143A	2025	Danmark	27	G143A	2014	Sverige
4	G143A	2025	Sverige	28	G143A	2024	Sverige
5	G143A	2025	Sverige	29	G143A	2024	Danmark
6	G143A	2025	Danmark	30		2024	Sverige
7	G143A	2025	Sverige	31	G143A	2024	Sverige
8	G143A	2025	Sverige	32	G143A	2010	Tyskland
9	G143A	2025	Sverige	33	G143A	2023	Danmark
10	G143A	2025	Sverige	34	G143A	2024	Sverige
11	G143A	2025	Sverige	35	G143A	2024	Danmark
12	G143A	2025	Danmark	36		2004	Sverige
13	G143A	2025	Danmark	37		2001	Tyskland
14	G143A	2025	Danmark	38	G143A	2024	Danmark
15	G143A	2025	Danmark	39	G143A	2024	Danmark
16	G143A	2025	Danmark	40	G143A	2024	Sverige
17	G143A	2025	Danmark	41	G143A	2024	Danmark
18	G143A	2025	Danmark	42	G143A	2025	Sverige
19	G143A	2025	Danmark	43	G143A	2025	Danmark
20	G143A	2025	Danmark	44	G143A	2025	Sverige
21	G143A	2025	Danmark	45	G143A	2025	Danmark
22		1985	Sverige	46	G143A	2025	Danmark
23	G143A	2024	Sverige	47	G143A	2025	Sverige
24	G143A	2024	Sverige	48	G143A	2025	Sverige

Figur 13 visar kromatogram och sekvensen för forward- och reverse-sekvenserna vid delen av cytb-genen som G143A-mutationen satt på två isolat. Isolat 22 hade samma nukleotidsekvens som referensen (WT), GGT i både forward- och reverse-sekvensen vilket innebar att den inte bar på G143A mutationen, vilket däremot isolat 23 gjorde eftersom GGT → GCT.



Figur 13. Kromatogram över en del av *cytb*-genen hos *C. beticola*. Översta raden visar vildtypsekvens. Isolat 22 uppvisar vildtypsekvens GGT medan isolat uppvisar GCT som ger upphov till G143A-mutationen.

5. Diskussion

5.1 Inokulerade fältförsök

5.1.1 Sortförsök

Resultatet från det inokulerade sortförsöket på Helgegården 2025 visade att sortvalet var en avgörande faktor för att hantera kraftiga angrepp av cercospora. Ett tydligt samband som visade detta var att den toleranta sorten hade högst sockerskörd och lägst angreppsgrad jämfört med marknadssorterna (Figur 8; Tabell 8). Marknadssorternas bladmassa var nästan helt nedvisen till följd av de kraftiga angreppen och började sätta nya blad. Den toleranta sorten klarade att motstå angreppen längre in på säsongen och fick aldrig riktigt kraftiga symptom (Figur 8). Detta återspeglades i att den toleranta sorten hade högst sockerhalt, signifikant högre än sorterna 1, 5, 6 och 8 (Tabell 8), eftersom den inte behövt lägga energi i form av socker till att sätta nya blad som marknadssorterna var tvungna till (Rangel et al. 2020). Marknadssorterna visade inte några signifikanta skillnader för sockerskörd där skördeintervallet var mellan 13,6–14,8 t/ha (LSD=1,3), och inte heller för sockerhalten som varierade mellan 15,2–16,0 % (LSD=0,9) (Tabell 8). Det, och att det inte finns några speciella skillnader i angreppsgrad vid graderingen (Figur 8), visade att det inte fanns tillräckligt bra tolerans mot kraftiga angrepp av cercospora hos de svenska marknadssorterna i dagsläget.

Det finns ett behov av att få in toleranta sorter på den svenska marknaden för att hantera kraftigare angrepp av cercospora. Det är därför viktigt att toleranta sorter är med i framtida sortprovningar så att testas under svenska förhållanden.

5.1.2 Fungicidförsök

Resultaten från de inokulerade fungicidförsöken visade att valet av preparat var avgörande för att hantera ett högt infektionstryck av cercospora. Fungicidbehandlingarna som gav bäst resultat, led 2 (Comet Pro+Revyona), led 3 (Comet Pro+Propulse) och led 5 (Amistar Gold) visade högre merskörd jämfört med obehandlat än de andra leden. Gemensamt för dessa var att alla var DMI-fungicider (FRAC-grupp 3). En anmärkningsvärd observation var att led 4 (Comet Pro) hade lägre sockerskörd än de obehandlade leden i Borgeby och på Helgegården. Detta kan sannolikt förklaras av strobilurinresistens eftersom det gjorde fungiciden verkningslös mot cercospora. Detta trots att det knappt fanns några skillnader i cercosporasymptom mellan obehandlat och led 4 (Comet Pro).

Eftersom i princip alla isolat som sekvenserades hade G143A-mutationen (Tabell 16), och att det varit hårt selektionstryck genom åren på grund av hög

användning av strobiluriner i sockerbetsodlingen, var det hög sannolikhet att cercospora i de inokulerade försöken var resistent mot strobiluriner.

Skillnaden i fungicidprogrammet mellan led 4 och led 7 var att led 7 innehöll biostimulanten Nuvola. Led 7 hade signifikant högre sockerskörd och rotskörd jämfört med led 4 när båda lokalerna slogs samman (Tabell 11). Biostimulanten applicerades i förebyggande syfte innan inokulering men även i bekämpningsprogrammet. Syftet med biostimulanten var att den skulle förbättra sockerbetans näringsupptag, rottillväxt och inducerande försvar (FMC 2025). Led 6 som också innehöll en biostimulant (Aquicine Duo) hade högre rotskörd, sockerhalt och sockerskörd än både led 4 och obehandlat men utan signifikans. Eftersom försöken såg lovande ut men bara utförts under ett år kan det vara intressant att fortsätta testa dessa biostimulanter och andra biostimulanter i framtida försök. Speciellt eftersom de tillgängliga fungicidernas bekämpningseffekt blir svagare och att det sker mer forskning inom biologisk bekämpning mot patogener som cercospora (2.3.4).

Graderingsresultaten visade att alla led förutom led 3 (Propulse) på Helgegården hade en gradering mellan 7,7–8 och i Borgeby mellan 5,5–6,5 vilket var 1,5 lägre gradering för de leden i Borgeby jämfört med Helgegården (Figur 10; Figur 11). Det kan eventuellt förklarats av att det i Borgeby applicerades halv dos inokulum vid inokuleringen. Statistiken från skörderesultaten från Helgegården (Tabell 9) som hade kraftigare angrepp generellt, visade signifikanta skillnader för rot- och socker-skörd medan i Borgeby där det inte var lika kraftiga angrepp fanns ingen signifikans för skördeparametrarna (Tabell 10). Det kan vara en indikation mot att det krävs starka angrepp av *C. beticola* för att få bekämpningseffekter av fungicider men även då sortegenskaper som tolerans utvärderas (Kaiser & Varrelmann 2009). Vidare var även skördarna högre i leden i Borgeby jämfört med Helgegården (Tabell 9; Tabell 10) vilket troligtvis berodde på lokala förutsättningar som bördighet och väderfaktorer men inokuleringsmängden och angreppsgraden kan också vara en påverkande faktor till skördeskillnaderna mellan platserna.

En jämförelse mellan inokulerade försök och de svenska officiella fungicidförsöken (2019–2024) med naturlig infektion belyser vikten av artificiell inokulering. De svenska försöken hade sannolikt lägre tryck av cercospora och dominerades i stället av betrost (*Uromyces betae*) och mjöldagg (*Erysiphe betae*). Detta förklarar att behandlingen med enbart Comet Pro resulterade i en skördeökning på 1,5 ton socker per hektar i dessa försök (Tabell 1), då strobiluriner har god effekt på både betrost och mjöldagg. Vid frånvaro av ett betydande cercospora-tryck maskerades bristen på effekt mot patogenen. I de inokulerade försöken resulterade dock Comet Pro-behandlingen i en lägre sockerskörd per hektar jämfört med obehandlat led. En tänkbar förklaring var att fungiciden bekämpade konkurrerande svampar, vilket gav den

strobilurinresistent *C. beticola* ökat utrymme att angripa. Detta understryker den omfattande resistensproblematiken för strobiluriner vid bekämpning av cercospora.

Propulse innehåller protiokonazol (DMI) och fluopyram (SDHI). Trots att behandlingen med (Comet Pro + Propulse) uppvisade högst skördeutbyte och lägst angreppsgrad i fungicidförsöken (Tabell 9; Tabell 10; Tabell 11; Figur 10; Figur 11; Figur 12), indikerade de fenotypiska känslighetstesterna en reducerad känslighet mot protiokonazol hos de testade isolaten (Tabell 12; Tabell 14. Detta belyser komplexiteten i att översätta laborationsresultat till fältförhållanden. De höga EC50-värden som uppmättes i laboratoriet tyder på en begynnande resistensutveckling, där populationen riskerar att nå en kritisk punkt där fungicidkontrollen går förlorad.

Att fastställa exakta tröskelvärden för känslighet hos enskilda isolat är svårt, snarare bör resultaten ses som en indikation på en pågående trend i populationen. Den goda effekten i fält kan förklaras av att den praktiska dosen fortfarande överstiger den koncentration som krävs för kontroll, men de förhöjda EC50-värdena utgör en viktig varningssignal. Det understryker vikten av att kombinera fältstudier med kontinuerliga undersökningar i laboratorier för att kunna förutse förändringar i fungicidrespons över tid, då enbart fältförsök riskerar att maskera begynnande resistensproblematik.

5.1.3 Jämförelse mellan de fungicidförsöken och sortförsöket

När de inokulerade fungicidförsöken jämförs med det inokulerade sortförsöket, är det intressant att i fungicidförsöken fanns signifikanta skillnaderna i rotskörden samtidigt som det inte fanns några signifikanta skillnader i sockerhalt, vilket kan betyda att det kan vara rotskörden som driver skillnaderna i sockerskörden i fungicidförsöket (Tabell 11). I sortförsöket däremot, hade den toleranta sorten högst sockerhalt och signifikant högre sockerhalt än sort 1, 5, 6 och 8, samtidigt fanns det inte några signifikanta skillnader för sockerhalten inom de sju marknadssorterna. Därför är det troligt att det är sockerhalten som drivit upp sockerskörden hos den toleranta sorten. Förklaringen kan delvis bero på att sockerhalten kan variera mellan olika sorter på grund av genetiska faktorer. Däremot ligger nog en stor del av förklaringen till skillnaderna mellan sockerhalten i att symptomen var mycket kraftigare på marknadssorterna än den toleranta sorten (Figur 8). Eftersom marknadssorterna hade så kraftiga angrepp och fick producera nya blad, allokerades troligen en stor del av sockret från roten till ny bladmassaproduktion vilket sänkte sockerhalten. I fungicidförsöken där det inte fanns signifikanta skillnader i sockerhalten, var skillnaderna i angreppsgraden mellan behandlingarna heller inte så stor som mellan marknadssorterna och den toleranta sorten i sortförsöket (Figur 12). Detta indikerar att vid kraftiga angrepp är det framför allt sockerhalten som påverkar sockerskörden.

Fungicidförsöket och sortförsöket på Hellegården låg precis bredvid varandra och hade exakt samma abiotiska förutsättningar. Om det bästa ledet i fungicidförsöket på Hellegården (Comet Pro + Propulse) med rotskörd (100,4 t/ha), sockerhalt (15,6%) och sockerskörd (15,6 t/ha) (Tabell 9), jämförs med den toleranta sorten från Hellegården med rotskörd (96,7 t/ha), sockerhalt (16,4%) och sockerskörd (15,9 t/ha) (Tabell 8). Hade den toleranta sortens högre sockerskörd (0,3 ton socker/ha), trots en lägre rotskörd på 3,7 t/ha och trots att inga fungicider användes i sortförsöket. Det kan förklaras av den högre sockerhalten och därmed den betydligt lägre angreppsgraden (Figur 8; Figur 10). Den lägre rotskörden hos den toleranta sorten kan komma av den ”trade off” som sker vid växtförädling av toleranta sorter men blir nödvändig vid kraftiga angrepp, vilket visualiseras i de inokulerade försöken. Slutligen är det därför viktigt att minimera angreppen för att bibehålla sockerskörden och vid minskad effekt av fungicider blir därför sortvalet extra viktigt. Det finns även behov av att testa i fältförsök om fungicider från exempelvis FRAC-grupp 21 eller biostimulanter kan vara möjligt att använda i svensk sockerbetsodling.

5.2 Laborariestudier

5.2.1 Skillnader mellan agarplatt- och mikrotiterplatt-metoderna och deras EC50-värden

DMI-fungiciderna

Skillnaderna i känslighet hos isolaten mot DMI-fungiciderna skiljde sig en del mellan agarplatt- och mikrotiterplatt-metoden vilket kan bero på olika faktorer. En kan vara de olika koncentrationsgradienter där agarplattmetoden hade 0,01 mg/l som lägsta och 10 mg/l som högsta koncentration jämfört med mikrotiterplattmetoden vars lägsta koncentration var 0,1 mg/l och högsta var 100 mg/l. Detta gjorde det svårare att jämföra EC50-värdena på isolaten.

Den genomgående trenden för båda metoderna var att isolaten var minst känsliga mot protikonazol men mer känsliga mot difenokonazol och mefentriflukonazol i både agarplatt- och mikrotiterplatt-metoden. Däremot var det skillnad på känsligheterna (EC50-värdena) inom samma isolat och fungicid mellan metoderna vilket sänkte trovärdigheten för resultaten. Ett exempel var isolat 1 som på agarplattmetoden har EC50-värde > 10 mg/l medan i mikrotiterplattmetoden ett EC50-värde < 0,1 mg/l som var lägsta koncentrationen vilket gjorde resultatet blir missvisande. Även isolat 6 skiljde sig för mefentriflukonazol där det visade sig känslig på agarplattmetoden men inte med mikrotiterplattmetoden, som dessutom hade en högsta koncentration på 100 mg/l. Däremot visade de andra fyra isolaten (3, 8, 10 och 11) känslighet både på

agarplattorna och i mikrotiterplattorna men med genomgående högre EC50-värden på agarplattorna.

För difenokonazol fanns också skillnader mellan isolatens känslighet på de två olika metoderna. Till exempel uppvisar isolat 2 känslighet för difenokonazol på agarplattmetoden med EC50-värde på 3,65 mg/l medan på mikrotiterplattmetoden uppvisades ingen känslighet med EC50-värde >100 mg/l. Däremot uppvisade de andra fem isolaten som var känsliga på agarplattmetoden också känslighet på mikrotiterplattmetoden (3, 6, 8, 10 och 11) men med högre EC50-värden på mikrotiterplattmetoden vilket var motsatsen till hur det var för mefentriplukonazol.

För protiokonazol uppvisade isolat 3 och 10 känslighet men inte i mikrotiterplattmetoden där det var isolat 6 och 7 som var känsliga med EC50-värden på 18,1 och 16,5 mg/l. Det går inte att dra några paralleller för isolat 6 och 7 till agarplattmetoden eftersom högsta koncentrationen var 10 mg/l och EC50-värdena var 18,1 och 16,5 mg/ml. Däremot borde isolat 3 och 10 uppvisa känslighet på mikrotiterplattmetoden eftersom de gjorde det på agarplattorna vilket påverkar trovärdigheten för mikrotiterplattmetoden negativt.

Standardavvikelseerna och RSE-värdena var för alla fungicider genomgående lägre på agarplattmetoden (Tabell 12; Tabell 13) än för mikrotiterplattmetoden (Tabell 14; Tabell 15) vilket indikerade att agarplattmetoden gav mindre variation och därmed mer statistiskt säkra resultat. Det går därför att utifrån skillnaderna på EC50-värdena, standardavvikelseerna och RSE-värdena konstatera att mikrotiterplattmetoden som användes i detta arbete, inte är tillräckligt stabil för känslighetstest av DMI-fungicider på *C. beticola* och att det finns fortsatt behov av metodutveckling på mikrotiterplattmetoden.

Mikrotiterplattmetoden i NBR:s laboratorium behöver utvecklas genom bättre och jämnare homogenisering av mycelfragmenten så att mycelfragmenten blir lika stora och att mycelkoncentrationen blir likvärdig i alla brunnar och för alla isolat, då olika mängd inokulum gör att tillväxten varierar. Det kan uppnås genom att använda en homogeniseringsmaskin likt (Lien & Chanda 2025). För att undvika felkällorna med mycelhomogeniseringen kan sporer användas i stället för mycel, vilket Mullender et al. (2021) använt sig av, vilket är möjligt men då måste isolaten bilda sporer för att det ska fungera.

Metoden för utspädning av fungiciderna som görs i PDB behöver också utvecklas. Det upplevdes att fungiciderna lösta i aceton fälldes ut i PDB:n vilket påverkar den faktiska fungicidkoncentrationen i brunnarna och kan vara en stor felkälla. Samma problematik upplevdes inte när den kommersiella produkten Revyona användes eftersom den är mer vattenlöslig än de rena tekniskt lösta fungiciderna. Koncentrationsgradienterna behöver också utvecklas med fler koncentrationer för säkrare prediktion av EC50-värden. Mikrotiterplattmetoden

behöver en lägre lägsta koncentration för att EC50-värden ska kunna beräknas för väldigt känsliga isolat.

Agarplattmetoden bedöms att utifrån de låga RSE-värdena (20%-28%), ge tillfredställande säkra resultat för undersökning av fenotypisk känslighet mot DMI-fungicider och kan användas för framtida fenotypiska känslighetstest. För bättre prediktion av EC50-värden och säkrare statistiska resultat kan metoden utvecklas med fler replikat per isolat och en högre högsta-koncentration (10 mg/l), exempelvis 50 eller 100 mg/l, för att få fler mätvärden till EC50-värdena.

Strobilurinerna och SDHI på agarplattmetoden

Det fenotypiska känslighetstestet av azoxystrobin, pyraklostrobin och fluopyram visade tydligt att isolaten inte var känsliga mot de aktiva substanserna. Fluopyram som är en SDHI i bland annat Propulse testades för att undersöka om det finns synergistiska effekter av att blanda protiokonazol och fluopyram eftersom Propulse visar goda bekämpningseffekter i de inokulerade fältförsöken samtidigt som isolaten visade svagast känslighet mot protiokonazol på de fenotypiska känslighetstesten. Eftersom isolaten inte visade någon känslighet mot fluopyram bedöms den inte vara effektiv mot *C. beticola* vilket även belysts i andra artiklar (Sautua et al. 2020). Däremot kan det vara intressant med fältförsök med endast en SDHI-produkt för att undersöka bekämpningseffekten i praktiken och jämföra det med fler laboratorieundersökningar.

Pyraklostrobin som är enda aktiva substans i Comet Pro och azoxystrobin som tillsammans med difenokonazol ingår i Amistar Gold bedömdes verkningslösa på alla de tolv testade isolaten förutom isolat 3 (4.2.1). Det betyder att effekterna av Amistar Gold mot cercospora i huvudsak beror av difenokonazol-delen i produkten. Resultaten stämde bra överens med Sanger-sekvenseringen som visade att alla tolv isolat har G143A-mutationen (Tabell 16) och bör därför vara resistenta. Däremot borde isolat 3, som hade G143A-mutationen, inte visa känslighet mot vare sig azoxystrobin eller pyraklostrobin då strobilurinresistens innebär fullständig resistens vid punktmutation, vilket den gjorde. Det kan bero på felkällor i agarplattmetoden som att SHAM inte användes och att *C. beticolas* alternativa respirationsvägar användes. Om vidare studier av fungicidresistens mot strobiluriner ska ske med agarplattmetoden bör SHAM inkluderas för att utesluta denna felkälla (Secor & Rivera 2012).

5.2.2 Sanger-sekvensering och förekomsten av G143A-mutationen

Sanger-sekvenseringen av de 48 isolaten visade att strobilurinresistens orsakad av G143A mutationen fanns i alla undersökta svenska och danska isolat från 2025 och i alla förutom ett från 2024. Det betyder dock inte att alla isolat i det svenska

och danska odlingsområdet är resistent mot strobiluriner eftersom populationerna inom odlingsområdet kan skiljas åt, bland annat beroende på det historiska selektionstrycket av fungicider och av både naturlig och antropogen spridning av *C. beticola*. Däremot visar det med säkerhet att det finns isolat som är resistent mot strobiluriner i sockerbetsodlingarna och att dessa isolat blir verkningslösa mot fungicider med strobiluriner. Eftersom strobiluriner har god effekt mot konkurrerande svampar som betrost (*Uromyces betae*) och mjöldagg (*Erysiphe betae*) blir konkurrensen mellan dem och cercospora mindre och därför enklare för cercospora att orsaka kraftiga angrepp. Vidare är det intressant att de äldre isolaten från 1985, 2001 och 2004 inte hade G143A mutationen vilket kan ge en fingervisning om att strobilurinresistensen kommit på senare tid. Det är även intressant att isolat 32 från Tyskland 2010 hade mutationen då det visar att det redan fanns strobilurinresistens i Tyskland vid den tiden.

Sanger-sekvensering är betydligt effektivare och mer exakt än agarplattmetoden när resistens mot strobiluriner ska undersökas, speciellt då det är kvalitativ resistens eftersom endast en punktmutation ger upphov till fullständig resistens, till skillnad från DMI-fungiciderna som är kvantitativa där flera olika mekanismer påverkar känsligheten. Därför bör, om möjligt, Sanger-sekvensering användas i framtiden om *C. beticola* isolat ska testas mot strobilurinresistens men agarplattmetoden fungerar också (Secor & Rivera 2012).

Det går även att undersöka mutationer i CYP51-genen kopplade till DMI-resistens med Sanger-sekvensering (Hoffmeister et al. 2024) men eftersom det finns flera olika kombinationer samt andra försvarsmekanismer mot DMI-fungicider hos *C. beticola* krävs mycket arbete för att koppla dem till praktiken. Det behövs omfattande fenotypiska känslighetstest för att dra slutsatser om kopplingen mellan mutationerna och minskad känslighet. Eftersom det kan vara stor skillnad i populationerna i odlingslandskapet blir det svårt att applicera resultat om olika punktmutationer och fenotypisk känslighet mot DMI-fungicider på *C. beticola*. Det betyder att, utifrån NBR:s förutsättningar, är fenotypiskt känslighetstest med agarplatt- eller mikrotiterplatt-metoden den effektivaste metoden för att få en bild av känsligheten hos isolat mot DMI-fungicider i odlingslandskapet i dagsläget.

6. Slutsatser

Cercospora är en av de allvarligaste bladsvamparna i global sockerbetsodling. Med ökade angrepp i Sverige och utbredd fungicidresistens globalt finns behov av bättre förståelse för *cercospora* polycykliska livscykel, mekanismerna bakom fungicidresistens men även hur växtförädling kan hantera patogenen vilket detta arbete går genom.

Det inokulerade sortförsöket visade att sortvalet är en viktig faktor för att hantera kraftiga angrepp av *cercospora*. Den toleranta sorten presterade bättre än alla de andra svenska marknadssorterna som inte har tillräckligt bra motståndskraft mot *cercospora*. Därför är det viktigt att det kommer in toleranta sorter mot *cercospora* i Sverige. De inokulerade fungicidförsöken bekräftade att kemisk bekämpning med DMI-fungicider, framför allt Propulse, är det mest effektiva kemiska verktyget i dagsläget. Eftersom strobilurinresistensen är utbredd i Sverige och Danmark, har Comet Pro, som innehåller strobiluriner, ingen effekt mot *cercospora*. Som komplement till de kemiska fungiciderna visade biostimulanten Nuvola OR vissa positiva effekter och det finns behov av vidare forskning och försök med biostimulanter generellt mot *cercospora*. Det finns också behov av att undersöka möjligheterna för att använda fungicider från FRAC-gupp 21 (QiI) som komplement till DMI-fungiciderna.

Metodutvecklingen i NBR:s laboratorium konstaterades att agarplattmetoden i dagsläget är den mest tillförlitliga för att fastställa EC50-värden och att NBR har möjlighet att testa känslighet mot fungicider *in vitro*. Det finns behov av metodutveckling av mikrotiterplattmetoden med bättre homogenisering av mycel men även mer korrekt utspädningen av fungiciderna. De fenotypiska känslighetstesten visade att isolaten från 2025 inte var känsliga mot azoxystrobin, pyraklostrobin eller fluopyram. Av DMI-fungiciderna var isolaten minst känsliga mot protiokonazol medan difenokonazol och mefentriflukonazol hade bäst effekt.

Sammanfattningsvis utgör detta arbete en väsentlig vetenskaplig grund för en fördjupad förståelse av *C. beticola* och dessa framtida hantering i ett föränderligt klimat. Detta genom förbättrad kunskap om patogenens biologi och resistensmekanismer men även utveckling av *in vitro*-tester samt möjligheten att undersöka sorter och bekämpningsstrategier i inokulerade fältförsök. Studiens resultat betonar vikten av att proaktivt bredda verktygslådan genom integration av resistensförädling, diversifierad fungicidanvändning och odlingstekniska åtgärder. Denna typ av studier är avgörande för att säkerställa den svenska sockerbetsproduktionens långsiktiga resiliens och konkurrenskraft under ett tilltagande sjukdomstryck.

Referenser

- Andersson, R. & Holmquist, L. (2025). Bladsvampar – göra rätt är rimligt lätt. *Betodlaren*, 88 (2), 52–59. [2025-11-14]
- BASF (2025a). *Comet Pro*.
<https://www.agro.basf.se/sv/Produkter/Produktoversikt/Svampmedel/Comet-Pro.html> [2025-11-14]
- BASF (2025b). *Revyona*.
<https://www.agro.basf.se/sv/Produkter/Produktoversikt/Svampmedel/Revyona.html> [2025-11-14]
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1), 1–48.
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bayer (2025). *Propulse SE 250*.
<https://www.cropscience.bayer.se/produkter/svampmedel/propulse-se-250> [2026-02-02]
- Betodlarna (2025). *Om oss. Betodlarna*. <https://betodlarna.se/om-oss/> [2025-11-05]
- Biró, A.F., Leader, A.J., Hufnagl, A., Kukorelli, G. & Molnár, Z. (2024). Picolinamide Fungicides for Controlling Cercospora-Leaf Spot (CLS) of Sugar Beet. *Biology and Life Sciences*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202408.2199.v1>
- Bolton, M.D., Birla, K., Rivera-Varas, V., Rudolph, K.D. & Secor, G.A. (2012). Characterization of *CbCyp51* from Field Isolates of *Cercospora beticola*. *Phytopathology*®, 102 (3), 298–305. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-11-0212>
- Bolton, M.D., Rivera, V. & Secor, G. (2013). Identification of the G143A mutation associated with QoI resistance in *Cercospora beticola* field isolates from Michigan, United States. *Pest Management Science*, 69 (1), 35–39. <https://doi.org/10.1002/ps.3358>
- Chen, C. (2024). *Epidemiology, virulence evolution, population genetic and genomic analyses of Cercospora beticola*. ETH Zurich.
<https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000673881>
- Chen, C., Keunecke, H., Bemm, F., Gyetvai, G., Neu, E., Kopisch-Obuch, F.J., McDonald, B.A. & Stapley, J. (2024). GWAS reveals a rapidly evolving candidate avirulence effector in the *Cercospora* leaf spot pathogen. *Molecular Plant Pathology*, 25 (1), e13407.
<https://doi.org/10.1111/mpp.13407>
- Chu, C., Dorn, K.M. & Bolton, M.D. (2024). Sugar beet. I: *Agrios' Plant Pathology*. Elsevier. 789–794. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00037-6>
- Chu, C., Tehseen, M.M., Preister, L., Branch, E., Boetel, M., Burt, E., Chanda, A., Ramachandran, V., Bolton, M.D. & Li, X. (2025). Evaluation of resistance to *Cercospora* leaf spot and tolerance to sugarbeet root maggot in wild sea beet (*Beta vulgaris* ssp. *maritima* (L.) Arcang) accessions. *Crop Science*, 65 (6), e70206. <https://doi.org/10.1002/csc2.70206>
- Corteva (2026). *Univoq™* | Corteva Agriscience.
<https://www.corteva.se/produkter/inatreq-active/univoq.html> [2026-02-03]
- El Housni, Z., Abdessalem, T., Radouane, N., Ezrari, S., Zegoumou, A. & Ouïjja, A. (2023). Overview of sugar beet leaf spot disease caused by *Cercospora beticola* Sacc. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56 (7), 503–528. <https://doi.org/10.1080/03235408.2023.2216356>

- FMC (2025). *Nuvola™ OR Biostimulant | FMC Ag SE*.
<https://ag.fmc.com/se/sv/produkter/biologicals-fmc/nuvola-or-biostimulant>
 [2026-02-05]
- Hoffmeister, M., Schorer, J., Hinson, A. & Stammler, G. (2024). Alterations in CYP51 of *Cercospora beticola* and their effects on DMI sensitivity. In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4432488/v1>
- Hudec, K. (2022). Diversity and fungicidal resistance of *Cercospora beticola*. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 25 (2), 148–156.
<https://doi.org/10.15414/afz.2022.25.02.148-156>
- Hückelhoven, R. & Pillen, K. (2024). Genetics of plant disease and resistance. I: *Agrios' Plant Pathology*. Elsevier. 133–160. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00004-2>
- Hückelhoven, R. & Schouten, A. (2024). Plant immunity and plant defense. I: *Agrios' Plant Pathology*. Elsevier. 161–210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822429-8.00005-4>
- Kaiser, U. & Varrelmann, M. (2009). Development of a field biotest using artificial inoculation to evaluate resistance and yield effects in sugar beet cultivars against *Cercospora beticola*. *European Journal of Plant Pathology*, 124 (2), 269–281. <https://doi.org/10.1007/s10658-008-9412-0>
- Kaya, R. (2022). *Cercospora Leaf Spot Disease*. I: Misra, V., Srivastava, S., & Mall, A.K. (red.) *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Springer Nature Singapore. 565–590. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_27
- Khan, J., Rio, L.E.D., Nelson, R., Rivera-Varas, V., Secor, G.A. & Khan, M.F.R. (2008). Survival, Dispersal, and Primary Infection Site for *Cercospora beticola* in Sugar Beet. *Plant Disease*, 92 (5), 741–745.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0741>
- Kildea, S., Hellin, P., Heick, T.M. & Hutton, F. (2022). Baseline sensitivity of European *Zymoseptoria tritici* populations to the complex III respiration inhibitor fenpicoxamid. *Pest Management Science*, 78(9), 4488–4496.
<https://doi.org/10.1002/ps.7067>
- Kiniec, A., Pieczul, K. & Piszczek, J. (2022). The first detection of multiple resistant (MBC and QoI) strains of *Cercospora beticola* Sacc. in Poland. *Crop Protection*, 158, 106006.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.106006>
- Kumar, R., Mazakova, J., Ali, A., Sur, V.P., Sen, M.K., Bolton, M.D., Manasova, M., Rysanek, P. & Zouhar, M. (2021). Characterization of the Molecular Mechanisms of Resistance against DMI Fungicides in *Cercospora beticola* Populations from the Czech Republic. *Journal of Fungi*, 7 (12), 1062.
<https://doi.org/10.3390/jof7121062>
- Lien, A.K. & Chanda, A.K. (2025). A Microplate-Based Assay to Determine DMI Fungicide Sensitivity of *Cercospora beticola*. *PhytoFrontiers™*,
<https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-07-25-0063-R>
- Malandrakis, A.A., Markoglou, A.N., Nikou, D.C., Vontas, J.G. & Ziogas, B.N. (2011). Molecular diagnostic for detecting the cytochrome b G143S – QoI resistance mutation in *Cercospora beticola*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100 (1), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.02.011>
- Matsuzaki, Y., Uda, Y., Kurahashi, M. & Iwahashi, F. (2021). Microtiter plate test using liquid medium is an alternative method for monitoring metyltetraprole sensitivity in *Cercospora beticola*. *Pest Management Science*, 77 (3), 1226–1234. <https://doi.org/10.1002/ps.6133>
- Misra, V., Pandey, H. & Mall, A.K. (2024). Exploring CRISPR/Cas9 Gene Editing Applications for Enhancing Disease Resistance in Sugar Beet. *ACS Agricultural Science & Technology*, 4 (1), 4–21.
<https://doi.org/10.1021/acsagscitech.3c00193>

- Muellender, M.M., Mahlein, A., Stammler, G. & Varrelmann, M. (2021). Evidence for the association of target-site resistance in *cyp51* with reduced DMI sensitivity in EUROPEAN *Cercospora beticola* field isolates. *Pest Management Science*, 77 (4), 1765–1774. <https://doi.org/10.1002/ps.6197>
- Oerke, E.-C. & Steiner, U. (2025). Intra-Leaf Variability of Incubation Period Sheds New Light on the Lifestyle of *Cercospora beticola* in Sugar Beets. *Journal of Fungi*, 11 (3), 211. <https://doi.org/10.3390/jof11030211>
- Pathak, A.D., Srivastava, S., Misra, V., Mall, A.K. & Srivastava, S. (2022). Evolution and History of Sugar Beet in the World: An Overview. I: Misra, V., Srivastava, S., & Mall, A.K. (red.) *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Springer Nature Singapore. 3–10. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_1
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. (3.4.3). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- R Core Team (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* (4.5.2). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rangel, L.I., Spanner, R.E., Ebert, M.K., Pethybridge, S.J., Stukenbrock, E.H., De Jonge, R., Secor, G.A. & Bolton, M.D. (2020). *Cercospora beticola* : The intoxicating lifestyle of the leaf spot pathogen of sugar beet. *Molecular Plant Pathology*, 21 (8), 1020–1041. <https://doi.org/10.1111/mpp.12962>
- Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C. & Gerhard, D. (2015). Dose-Response Analysis Using R. Xia, Y. (red.) (Xia, Y., red.) *PLOS ONE*, 10 (12), e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>
- Rosenzweig, N., Hanson, L.E., Clark, G., Franc, G.D., Stump, W.L., Jiang, Q.W., Stewart, J. & Kirk, W.W. (2015). Use of PCR-RFLP Analysis to Monitor Fungicide Resistance in *Cercospora beticola* Populations from Sugarbeet (*Beta vulgaris*) in Michigan, United States. *Plant Disease*, 99 (3), 355–362. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-14-0241-RE>
- Sautua, F.J., Doyle, V.P., Price, P.P., Porfiri, A., Fernandez, P., Scandiani, M.M. & Carmona, M.A. (2020). Fungicide resistance in *Cercospora* species causing cercospora leaf blight and purple seed stain of soybean in Argentina. *Plant Pathology*, 69 (9), 1678–1694. <https://doi.org/10.1111/ppa.13261>
- Secor, G.A. & Rivera, V.V. (2012). Fungicide Resistance Assays for Fungal Plant Pathogens. I: Bolton, M.D. & Thomma, B.P.H.J. (red.) *Plant Fungal Pathogens*. Humana Press. 385–392. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-501-5_23
- Setiawan, A., Koch, G., Barnes, S.R. & Jung, C. (2000). Mapping quantitative trait loci (QTLs) for resistance to *Cercospora* leaf spot disease (*Cercospora beticola* Sacc.) in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): *Theoretical and Applied Genetics*, 100 (8), 1176–1182. <https://doi.org/10.1007/s001220051421>
- Sharma, N., Heger, L., Combs, D.B., Smith, W.M., Holland, L., Brannen, P., Gold, K.M. & Miles, T. (2025). Prevalence of Mutations Associated with QoIs, QiIs, QioSIs, and CAA Fungicide Resistance Within *Plasmopara viticola* in North America and a Tool to Detect CAA-Resistant Isolates. *Phytopathology*®, 115 (5), 495–506. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-24-0257-R>
- Sierotzki, H. & Scalliet, G. (2013). A Review of Current Knowledge of Resistance Aspects for the Next-Generation Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides. *Phytopathology*®, 103 (9), 880–887. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-13-0009-RVW>

- Skaracis, G.N., Pavli, O.I. & Biancardi, E. (2010). Cercospora Leaf Spot Disease of Sugar Beet. *Sugar Tech*, 12 (3–4), 220–228.
<https://doi.org/10.1007/s12355-010-0055-z>
- Sockerbetor.nu (2025). *Rekommendationer bladsvampsbekämpning | sockerbetor.nu*.
[https://www.sockerbetor.nu/irj/portal/nordzucker/sv?NavigationTarget=navext\(ROLES://portal_content/nz_agri/admin/navigation/rl.base/c64280c6-1506-4204-8f53-5e4bdea5de2b|OPENTEXT_EXTERNAL://_OT-DS-Server_agriportal/09FF2B7B1FBB49C2BA18FFFF0074AB73--recursion=0/~//9D894AC125C8451784F044BAA7BDA950/C62E4C6C5BF742329FBF9B0CC7D13998/B9194C8318BE4A1CB5368E370CD9EE61\)&sapDocumentRenderingMode=Edge&>windowId=WID1771234373937&NavMode=0](https://www.sockerbetor.nu/irj/portal/nordzucker/sv?NavigationTarget=navext(ROLES://portal_content/nz_agri/admin/navigation/rl.base/c64280c6-1506-4204-8f53-5e4bdea5de2b|OPENTEXT_EXTERNAL://_OT-DS-Server_agriportal/09FF2B7B1FBB49C2BA18FFFF0074AB73--recursion=0/~//9D894AC125C8451784F044BAA7BDA950/C62E4C6C5BF742329FBF9B0CC7D13998/B9194C8318BE4A1CB5368E370CD9EE61)&sapDocumentRenderingMode=Edge&>windowId=WID1771234373937&NavMode=0) [2025-11-14]
- Spanner, R., Neubauer, J., Heick, T.M., Grusak, M.A., Hamilton, O., Rivera-Varas, V., De Jonge, R., Pethybridge, S., Webb, K.M., Leubner-Metzger, G., Secor, G.A. & Bolton, M.D. (2022). Seedborne *Cercospora beticola* Can Initiate Cercospora Leaf Spot from Sugar Beet (*Beta vulgaris*) Fruit Tissue. *Phytopathology*®, 112 (5), 1016–1028.
<https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-21-0113-R>
- Spanner, R., Taliadoros, D., Richards, J., Rivera-Varas, V., Neubauer, J., Natwick, M., Hamilton, O., Vaghefi, N., Pethybridge, S., Secor, G.A., Friesen, T.L., Stukenbrock, E.H. & Bolton, M.D. (2021). Genome-Wide Association and Selective Sweep Studies Reveal the Complex Genetic Architecture of DMI Fungicide Resistance in *Cercospora beticola*. Betancourt, A. (red.) (Betancourt, A., red.) *Genome Biology and Evolution*, 13 (9), evab209. <https://doi.org/10.1093/gbe/evab209>
- Syngenta (2023). *AQUICINE DUO*. Syngenta France.
<https://www.syngenta.fr/produits/protection-des-cultures-biocontrole/fongicides/aquicine-duo> [2026-02-05]
- Syngenta (2025). *Amistar Gold*. Syngenta. <https://www.syngenta.se/product/crop-protection/amistar-gold> [2025-11-14]
- Taguchi, K., Kubo, T., Takahashi, H. & Abe, H. (2011). Identification and Precise Mapping of Resistant QTLs of Cercospora Leaf Spot Resistance in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). *G3 Genes|Genomes|Genetics*, 1 (4), 283–291.
<https://doi.org/10.1534/g3.111.000513>
- Tan, W., Li, K., Liu, D. & Xing, W. (2023). Cercospora leaf spot disease of sugar beet. *Plant Signaling & Behavior*, 18 (1), 2214765.
<https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2214765>
- Trkulja, N.R., Milosavljević, A.G., Mitrović, M.S., Jović, J.B., Toševski, I.T., Khan, M.F.R. & Secor, G.A. (2017). Molecular and experimental evidence of multi-resistance of *Cercospora beticola* field populations to MBC, DMI and QoI fungicides. *European Journal of Plant Pathology*, 149 (4), 895–910. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1239-0>
- Van Houtte, A. (2025). *Aquicine® Duo : des stimulateurs de défenses naturelles comme protection fongique des céréales*. Terre Fermière.
<https://www.terrefermiere.be/interventions-phytosanitaire/aquicine-duo-des-stimulateurs-de-defenses-naturelles-comme-protection-fongique-des-cereales/> [2026-02-05]
- Vogel, J., Kenter, C., Holst, C. & Märlander, B. (2018). New Generation of Resistant Sugar Beet Varieties for Advanced Integrated Management of Cercospora Leaf Spot in Central Europe. *Frontiers in Plant Science*, 9, 222. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00222>
- Weiland, J. & Koch, G. (2004). Sugarbeet leaf spot disease (*Cercospora beticola* Sacc.)†. *Molecular Plant Pathology*, 5 (3), 157–166.
<https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00218.x>

- Windels, C.E., Lamey, H.A., Hilde, D., Widner, J. & Knudsen, T. (1998). A Cercospora Leaf Spot Model for Sugar Beet: In Practice by an Industry. *Plant Disease*, 82 (7), 716–726. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.7.716>
- Wita, A., Białas, W., Czaczyk, K., Drożdżyńska, A., Sobiech, Ł., Grzanka, M., Danielewicz, J., Jajor, E., Horoszkiewicz, J. & Marecik, R. (2025). Biocontrol of Cercospora leaf spot in sugar beet by a novel Bacillus velezensis KT27 strain: Enhanced antifungal activity and growth promotion in laboratory and field conditions. Sansinenea, E. (red.) (Sansinenea, E., red.) *PLOS One*, 20 (5), e0323889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323889>
- Yang, Y., Varrelmann, M. & Liebe, S. (2025). Effect of sugar beet variety resistance on the disease epidemiology of *Cercospora beticola*. *Pest Management Science*, 81 (6), 2970–2980. <https://doi.org/10.1002/ps.8666>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Cercospora beticola är en svamp som under de senaste åren blivit ett växande problem i svensk sockerbetsodling. Den ger upphov till karakteristiska symptom som leder till nekrotiska fläckar och döda blad. Det minskar fotosyntesen och kan leda till stora skördeföruster och försämrade sockerkvalité. Svampen har en polycyklisk livscykel vilket innebär att den kan infektera flera gånger under en säsong. Det är en hemibiotrof svamp vilket betyder att den först infekterar sockerbetan utan några visuella symptom och beroende på förhållanden syns symptomen två veckor efter infektion som i Sverige brukar vara i slutet av juli. *C. beticola* har en överlevnadsstruktur som kallas pseudostromata som överlever på växtrester i fält och är även den primära källan till nya sporer.

Fältförsök som genomförts 2025 visar att toleranta sorter ger lägre angreppsnivåer och bättre sockerhalt och sockerskörd än vanliga marknassorter vid höga angreppsnivåer. Bland kemiska åtgärder gav DMI-fungicider bäst bekämpningseffekt i försöken där Propulse gav mest symptom och högst sockerskörd. Strobiluriner som Comet Pro visade inte någon tydlig bekämpningseffekt. Intressant nog ökade kombinationen av (Comet Pro + Nuvola OR) sockerskörden jämfört med endast Comet Pro, vilket tyder på att biostimulanter kan vara ett användbart komplement i bekämpningsstrategin.

Laboratorieanalyser utvecklade i studien jämför två fenotypiska metoder för att mäta svampens känslighet mot fungicider; agarplattmetoden och mikrotiterplattmetoden. Agarplattmetoden, som mäter svampens radiella tillväxt på fast medium, gav stabilare och mer tillförlitliga resultat i NBR:s laboratorium. Mikrotiterplattmetoden, som mäter myceltillväxt i flytande medium med en spektrofotometer, visade lovande resultat men behöver vidareutveckling för att bli lika robust. Resultaten visar också att isolat från Sverige och Danmark 2025 uppvisar minskad känslighet mot speciellt protiokonazol men var känsligare mot difenokonazol och mefentriflukonazol. De visade ingen känslighet mot två strobiluriner och en SDHI-fungicid.

Genetiska analyser bekräftar att G143A-mutationen i *cytb*-genen är mycket vanlig i de undersökta isolaten, vilket förklarar den utbredda resistensen mot strobilurin-fungicider. Detta innebär att enstaka fungicidgrupper snabbt kan bli ineffektivt och att resistensövervakning är nödvändig.

Praktiska slutsatser för odlare och rådgivare är att satsa på toleranta sorter, variera och begränsa användningen av fungicider från samma FRAC-grupp, integrera flera odlingsåtgärder som plöjning och bra växtföljd och använda fungicidförsök tillsammans med laboriebaserade resistensövervakning för att styra preparatval.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min huvudhandledare Björn Andersson som varit till stor hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka NBR och framför allt min biträdande handledare Louise Holmquist som har hjälpt mig i NBR:s laboratorium vid metodutvecklingen av de fenotypiska känslighetstesten.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

Alla författare till arbetet måste kryssa i sitt godkännande. Ta bort eller lägg till rader beroende på antalet författare. Ta bort den här texten när den inte längre behövs.

JA, jag, Carl-Hugo Jonsson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

JA, jag, författares namn har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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