



# Biologisk bekämpning av potatiscystnematoder

Några biologiska bekämpningsorganismer och  
deras potential för svenskt bruk

---

Sabina Juhlin Muñoz

Självständigt arbete i biologi • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap • Institutionen för ekologi  
Agronomprogrammet – mark/växt  
Uppsala 2023



# Biologisk bekämpning av potatiscystnematoder. Några biologiska bekämpningsorganismer och deras potential för svenskt bruk

Sabina Juhlin Munoz

**Handledare:** Maria Viketoft, SLU, Institutionen för ekologi

**Examinator:** Velemir Ninkovic, SLU, Institutionen för ekologi

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i Biologi

**Kurskod:** EX0894

**Program/utbildning:** Agronomprogrammet – mark/växt

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för vatten och miljö

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2023

**Omslagsbild:** Potatisplantor på en svensk åker. Foto: Maria Viketoft

**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

**Nyckelord:** Tillsättande biologisk bekämpning, *Globodera*, potatiscystnematoder, svampar, bakterier, parasitism, antibiotika, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus thuringiensis*.

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för ekologi

## Sammanfattning

Potatiscystnematoderna (PCN) *Globodera pallida* (vit potatiscystnematod) och *G. rostochiensis* (gul potatiscystnematod) är sedentära endoparasiter på potatis som kan orsaka stora skördeföruster i potatisodlingar. Båda arterna av PCN är även klassade som karantänskadegörare i Sverige. I dagsläget finns det inga godkända nematicider i Sverige och effekten av PCN-resistenta potatissorter har på vissa håll minskat, vilket medför att biologisk bekämpning kan utgöra en viktig framtida bekämpningsåtgärd mot PCN. I det här arbetet utfördes en litteraturstudie för att undersöka några kontrollorganismer för tillsättande biologisk bekämpning mot PCN och huruvida organismerna är godkända som verksamma ämnen i Sverige. Arbetet avgränsades till att undersöka bakterier och svampar som antingen har verkningsätt mot PCN genom parasitism eller genom att de utsöndrar sekundära metaboliter (antibios) som påverkar PCN negativt. Resultatet visade att bakterierna *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. och *Pasteuria* spp. har en kontrolleffekt mot PCN. Verkningsättet från *Pseudomonas* spp och *Bacillus* spp sker bland annat genom antibiotik och från *Pasteuria* spp genom obligat parasitism. Bland svamparna uppvisade *Hirsutella rhossiliensis*, *Pochonia chlamyosporia*, *Verticillium leptobactrum*, *Purpureocillium lilacinum* och *Trichoderma* spp. en bekämpningseffekt mot PCN. Bland dessa var *H. rhossiliensis* endoparasitär på PCN, medan de övriga svamparna var ägg- och/eller cystparasiter. Samtliga organismer har uppvisat en bekämpningseffekt mot båda arterna av potatiscystnematoder, fransett *Pasteuria* spp., *H. rhossiliensis* och *V. leptobactrum* som endast uppvisat en kontrolleffekt mot *G. pallida*. Av dessa biologiska kontrollorganismer fanns det enligt Kemikalieinspektionens (KEMI) bekämpningsmedelsregister arter godkända som verksamma ämnen inom släktena *Pseudomonas*, *Bacillus* och *Trichoderma*. *Trichoderma harzianum* och *Bacillus thuringiensis* var de två arter som både omfattades av litteraturstudien och som var godkända som verksamma ämnen enligt KEMI:s bekämpningsmedelsregister. Det är i nuläget svårt att utvärdera vilka kontrollorganismer som har störst bekämpningseffekt eftersom de försök som gjorts har utförts på olika premisser och då inga av försöken utförts i svenska fältförhållanden. Däremot har vissa av organismerna uppvisat egenskaper i litteraturen som kan påverka deras lämplighet som biologiska kontrollorganismer i svensk potatisodling. Vissa av kontrollorganismerna uppvisade även positiva bieffekter på potatisplantorna som exempelvis att de inducerade systemisk resistens och var tillväxtfrämjande, vilket är positiva egenskaper ur produktionssynpunkt. Slutsatsen som drog är att *T. harzianum* och *B. thuringiensis* är två kontrollorganismer som både finns godkända som verksamma ämnen i Sverige och som uppvisat en bekämpningseffekt mot PCN. Dock krävs mer forskning för att säkerställa att isolaten av dessa organismer lämpar sig för svenskt bruk samt i vilka formuleringar de ska appliceras.

**Nyckelord:** potatiscystnematoder, tillsättande biologisk bekämpning, bakterier, svampar, parasitism, antibiotik, *Trichoderma harzianum*, *Bacillus thuringiensis*.

## Abstract

The potato cyst nematodes (PCN) *Globodera pallida* (white potato cyst nematode) and *G. rostochiensis* (yellow potato cyst nematode) are sedentary endoparasites of potato that can cause major yield losses in potato cultivations. Both species of PCN are also classified as quarantine pests in Sweden. At present, there are no approved nematicides in Sweden and the effect of PCN-resistant potato varieties has decreased in some areas, which means that biological control may be an important future control measure against PCN. A literature study was conducted to investigate some control organisms for augmentative biological control against PCN and whether the organisms are approved as active substances in Sweden. The work was limited to investigate bacteria and fungi that either have a mode of action against PCN through parasitism or by producing secondary metabolites (antibiosis) that affects the PCN negatively. The result showed that bacteria within *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp. and *Pasteuria* spp. have a control effect against PCN. The mode of action of *Pseudomonas* spp. and *Bacillus* spp. is through antibiosis and of *Pasteuria* spp. through obligate parasitism. Among the fungi, *Hirsutella rhossiliensis*, *Pochonia chlamydosporia*, *Verticillium leptobactrum*, *Purpureocillium lilacinum* and *Trichoderma* spp. showed a control effect against PCN. Among these, *H. rhossiliensis* was endoparasitic on PCN, while the other fungi were egg and/or cyst parasites. All organisms showed a control effect against both species of potato cyst nematodes, except for *Pasteuria* spp., *H. rhossiliensis* and *V. leptobactrum*, which only showed a control effect against *G. pallida*. Out of the studied biological control organisms there were species approved as active substances according to the Swedish Pesticides Register of the Swedish Chemicals Agency (KEMI) in the genera *Pseudomonas*, *Bacillus* and *Trichoderma*. *Trichoderma harzianum* and *Bacillus thuringiensis* were the two species that were both included in the literature study and approved as active substances according to the Swedish Pesticides Register. Currently, it is difficult to evaluate which control organisms have the greatest control effect since the experiments have been carried out on different premises and since none of the experiments have been carried out in Swedish field conditions. However, some of the organisms have shown characteristics in the literature that may affect their suitability as biological control organisms in Swedish potato cultivation. Some of the control organisms also showed positive side effects on potato plants, such as inducing systemic resistance and promoting growth, which are positive characteristics from a production point of view. The conclusion that was drawn is that *T. harzianum* and *B. thuringiensis* are two control organisms that are both approved as active substances in Sweden and have shown a control effect against PCN. However, more research is needed to ensure that the isolates of these organisms are suitable for Swedish use and in which formulations they should be applied.

**Keywords:** potato cyst neamtodes, augmentative biological control, bacteria, fungi, parasitism, antibiosis, *Trichoderma harizuanum*, *Bacillus thuringiensis*.

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning</b> .....	<b>7</b>
<b>Figurförteckning</b> .....	<b>8</b>
<b>Förkortningar</b> .....	<b>9</b>
<b>Ordlista</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>11</b>
1.1 Potatiscystnematoder .....	11
1.1.1 Livscykel och biologi .....	12
1.1.2 Värdväxtsymtom .....	14
1.1.3 Bekämpningsåtgärder och resistens .....	14
1.2 Biologisk bekämpning .....	15
1.3 Syfte .....	16
<b>2. Metod</b> .....	<b>17</b>
2.1 Litteraturstudie .....	17
2.2 Avgränsningar .....	17
<b>3. Resultat</b> .....	<b>18</b>
3.1 Verkningsätt hos kontrollorganismer.....	18
3.1.1 Parasitism .....	18
3.1.2 Antibios .....	20
3.2 Bakterier.....	20
3.2.1 <i>Pseudomonas</i> spp. ....	21
3.2.2 <i>Bacillus</i> spp.....	22
3.2.3 <i>Pasteuria</i> spp.....	23
3.3 Svampar .....	24
3.3.1 <i>Hirsutella rhossiliensis</i> .....	24
3.3.2 <i>Pochonia chlamydosporia</i> .....	25
3.3.3 <i>Verticillium leptobactrum</i> .....	26
3.3.4 <i>Purpureocillium lilacinum</i> .....	27
3.3.5 <i>Trichoderma</i> spp. ....	28
3.4 Godkända organismer i Sverige .....	29
<b>4. Diskussion</b> .....	<b>30</b>

4.1	Utvärdering av kontrollorganismer .....	30
4.2	Bekämpningsorganismer med potential i Sverige .....	31
4.3	Tillämpningar och utvecklingsmöjligheter .....	32
<b>5.</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>34</b>
	<b>Referenser</b> .....	<b>35</b>

# Tabellförteckning

Tabell 1. Bakterier som är biologiska kontrollorganismer mot potatiscystnematoder, deras verkningsätt och vilken/vilka arter av <i>Globodera</i> spp. de infekterar.....	21
Tabell 2. Svampar som är biologiska kontrollorganismer mot <i>Globodera</i> spp., deras verkningsätt och vilken/vilka arter av <i>Globodera</i> spp. de infekterar.....	24
Tabell 3. Sammanställning av vilka av arterna/släktena som behandlats i arbetet som är godkända i Sverige enligt KEMI:s bekämpningsmedelsregister.....	29

## Figurförteckning

Figur 1. Cystor av den gula potatiscystnematoden ( <i>G. rostochiensis</i> ) på potatisrötter. Cystorna på bilden är både gul- och brunfärgade. Foto av (Xiaohong Wang), USDA Agricultural Research Service.....	13
--	----



## Förkortningar

CFU	Colony forming unit (svenska: kolonibildande enheter)
DAPG	2,4-diacetylphloroglucinol
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
KEMI	Kemikalieinspektionen
PCN	Potatiscystnematod
VOC	Volatile organic compound (svenska: flyktig organisk förening)

# Ordlista

Antagonist	En organism som påverkar en annan organism (i detta fall en växtskadegörare) negativt.
Antibios	En antagonistisk interaktion där en organism utsöndrar sekundära metaboliter som påverkar en annan organism negativt
Appressorium	Specialiserad cell som används av olika svammpatogener och orsakar mekaniskt tryck för att infektera sina värdorganismer.
In vitro	En process som utförs utanför en levande organism (exempelvis i ett provrör).
Konidiofor	Specialiserade svamphyfer som bildar konidier.
Kutikula	Ett skyddande skikt på kroppsytan som inte består av celler.
Nematicid	Kemiskt bekämpningsmedel mot nematoder.
Obligat parasit	Organism som kräver en värdorganism för att kunna fullgöra sin livscykel.
Pericykel	Ett skikt av celler som sitter innanför endodermis och runt ledningsvävnaden i växternas rötter.
Rhizobakterier	Bakterier som lever i rotzonen (rhizosfären) i jorden.
Sedentär endoparasit	Nematod som är stationär inuti växtens rötter.
Sekundära metaboliter	Ämnen som är produkter av en organisms ämnesomsättning men som inte är nödvändiga för organismens livsuppehållande system.
Zoosporer	En rörlig förökningskropp som bildas av algsvampar, slemsvampar och alger.

# 1. Inledning

## 1.1 Potatiscystnematoder

Nematoder, också kallade rundmaskar, har en kosmopolitisk utbredning i världen och kan agera både som nyttoorganismer och som skadegörare. Inom växtodlingen finns det många olika arter av växtparasitära nematoder som orsakar skördeförsturer på över 100 miljarder dollar varje år (Magnusson 2020). Majoriteten av de växtparasitära nematoderna angriper växternas rötter och kallas för rotnematoder. Rotnematoder är antingen ektoparasiter (nematoderna lever och äter på utsidan av rötterna) eller endoparasiter (nematoderna tar sig in i växtens rötter och livnar sig där). De endoparasitära nematoderna kan i sin tur vara migrerande (röra sig fritt i växtens vävnad) eller sedentära (stationära i roten) (Magnusson 2020). Cystnematoder, som det här arbetet omfattar, är sedentära endoparasiter där honorna ombildas till cystor på rötterna hos sina värdväxter.

Potatiscystnematoder (PCN) är en grupp cystnematoder och i Sverige utgörs de av de två arterna vit potatiscystnematod (*Globodera pallida*) och gul potatiscystnematod (*G. rostochiensis*). *Globodera rostochiensis* är den vanligaste förekommande arten i Sverige av de två (Andersson 2018). Potatiscystnematoderna parasiterar på växter ur familjen *Solanaceae* vilken innefattar grödor som potatis (*Solanum tuberosum*), aubergine (*S. melongena*) och tomat (*S. lycopersicum*) (Turner & Subbotin 2013). Även många ogräsarter inom *Solanaceae*-familjen, som exempelvis nattskatta (*S. nigrum*) och besöksöta (*S. dulcamara*), kan vara värdväxter (Andersson 2018). Potatiscystnematoder orsakar idag en förlust på ungefär 9% av den totala potatisproduktionen i Europa, men i många delar av världen kan förlusterna bli betydligt större (Turner & Subbotin 2013).

Potatiscystnematoderna härstammar från Sydamerika och tros ha kommit till Europa i samband med import av växtförädlingsmaterial under 1850-talet och framåt (Marks & Brodie 1998). I Sverige upptäcktes *G. rostochiensis* för första gången år 1922 och *G. pallida* år 1968. Då man tidigare än 1922 haft missväxt av potatis som tyder på *G. rostochiensis*, så tros PCN ha funnits i Sverige redan i början av 1900-talet (Andersson 2018).

European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) ser över rekommendationer kring klassning av karantänskadegörare inom EU. Både *G. pallida* och *G. rostochiensis* är klassade som karantänskadegörare på EPPO:s A2-lista (EPPO Global Database u.å.a; EPPO Global Database u.å.b), vilket innebär att de är skadegörare som ännu inte fått spridning i EPPO-regionen (EPPO u.å.). I Sverige råder därför anmälningsskyldighet till antingen Jordbruksverket eller Länsstyrelsen vid förekomst av *G. pallida* i ett fält, men då *G. rostochiensis* är så pass vanligt förekommande i Sverige idag är arten numera exkluderad från anmälningsskyldigheten. Däremot ska Jordbruksverket alltid kontaktas vid misstanke om att potatiscystnematoderna har överkommit resistensen hos en resistent potatissort (Jordbruksverket 2023). Mer information om resistent potatissorter tas upp i avsnitt 1.1.3.

### 1.1.1 Livscykel och biologi

I Sverige har potatiscystnematoderna en generation per växtodlingssäsong (Fogelfors 2015). Potatiscystnematodernas livscykel delas in i faserna ägg, juvenil och adult (vuxen). Den juvenila fasen kan i sin tur delas in i de fyra faserna J1, J2, J3 och J4. Totalt sett har potatiscystnematoderna därför sex olika utvecklingsfaser. Gemensamt för alla cystnematoder är att honan bildar en cysta när hon dör som innesluter befruktade ägg (Perry et al. 2018). Hos den gula potatiscystnematoden är cystorna först vita, för att sedan bli gula och slutligen bruna (Figur 1). De vita potatiscystnematoderna går aldrig igenom stadiet med guldfärgade cystor, utan övergår direkt från vitt till brunt (Andersson 2018). Varje cysta kan innehålla mellan 200-600 ägg (Andersson 1999) och inuti äggen utvecklas embryot till en första stadiets juvenil (J1) som sedan genomför sin första ömsning till en andra stadiets juvenil (J2) (Perry et al. 2018). Juvenilen går sedan in i diapaus, vilket är ett obligat stadie under den första växtodlingssäsongen (Perry et al. 2018). Om inte kläckningen stimuleras av en värdväxt (se nedan) kan det ta över 20 år innan alla ägg i en cysta antingen dör eller kläcks, vilket gör potatiscystnematoderna mycket långlivade i marken (Andersson 2018). Varje år kläcks dock en andel av äggpopulationen spontant, vilket medför att populationen av *G. rostochiensis* reduceras med 20-40% och *G.pallida* med 10-30% per år (Perry et al. 2018).



Figur 1. Cystor av den gula potatiscystnematoden (*G. rostochiensis*) på potatisrötter. Cystorna på bilden är både gul- och brunfärgade. Foto av (Xiaohong Wang), USDA Agricultural Research Service.

Avbruten diapaus hos J2 stimuleras annars övervägande av exudat (vilket är substanser utsöndrade från rötter) från en värdväxt. Solanoelepin A är en utav substanserna från potatis som har visat sig stimulera kläckning hos potatiscystnematoder (Andersson 2018). Kläckningen har även olika optimum beroende av temperaturen. *Globodera pallida* är anpassad till kalla temperaturer och dess ägg kan därför börja kläckas redan vid 10°C. För *G. rostochiensis* krävs ytterligare 2–3 graders temperaturökning för att äggen ska kläckas. Detta bidrar till att den vita potatiscystnematoden kan kläckas under en längre tid under säsongen (Perry et al. 2018). När J2 har tagit sig ut ur ägget söker den upp en värdväxt genom att följa substanser som utsöndras från värdväxtens rötter (Turner & Subbotin 2013). J2 tar sig in i värdväxtens rötter och tar sig vidare intracellulärt till rotens pericykel genom att använda enzymer och sin muntagg för att skära igenom cellväggarna (Perry et al. 2018). Väl vid pericykeln väljer J2 ut en cell för att börja skapa ett syncytium (en stor flerkärning cell) genom att bryta ner närliggande cellers cellväggar och därefter sammansmälta cellerna (Sobczak & Golinowski 2011). Denna cell manipulerar nematoden för att bli försedd med all näring den behöver från växten och syncytiet blir därför nematodens permanenta födokälla (Magnusson 2020). När J2 har upprättat ett syncytium som försörjer den med näring ömsar den till en tredje stadiets juvenil (J3) (Turner & Subbotin 2013). Honornas kroppar blir klotformade medan hanarna är maskformade. När hanarna genomgår den fjärde ömsningen slutar de äta och lämnar roten för att söka upp honor att para sig med. Honornas klotformade kroppar spräcker rotens epidermis vid den fjärde ömsningen och blir på så vis tillgängliga för parning med hanarna som är frilevande i marken

(Turner & Subbotin 2013). Efter parningen stannar honan kvar i roten och producerar ägg. Varje hona parar sig med flera hanar vilket kan ge stor genetisk variation hos avkomman från en och samma hona. Slutligen dör honan och hennes kropp bildar en cysta som innesluter äggen (Magnusson 2020). Det är dessa cystor man sedan kan se på utsidan av värdväxtens rötter. När värdväxten dör lossnar cystorna från rötterna och kan förbli vilande i jorden (Turner & Evans 1998 se Turner & Subbotin 2013).

### 1.1.2 Värdväxtsyntom

I Sverige orsakar potatiscystnematoder främst skador på potatis. Vid angrepp av potatiscystnematoder får potatisen ett grunt och buskigt rotsystem som jord lätt häftar fast vid. Även knölarna påverkas och kan bli små i storleken. Ungefär 5–6 veckor efter sättnings av potatisen kan cystor börja synas på rötterna. Cystorna kan vara vita, gula eller bruna beroende på art och utvecklingsstadium (Andersson 2018). Då potatiscystnematoderna inte sprider sig lång väg på egen hand uppstår symtom från angrepp först lokalt i fältet. I dessa lokala fläckar bildas ofta mycket ogräs och blasten på potatisen kan vissna (Jordbruksverket 2023). Om inga bekämpningsåtgärder görs mot potatiscystnematoderna kommer de sprida sig med jorden i samband med att fältet brukas. Fläckarna med symtom kommer då bli större och nematoderna kan till slut spridas i hela fältet (Andersson 2018).

### 1.1.3 Bekämpningsåtgärder och resistens

Idag finns det inga kemiska bekämpningsmedel mot nematoder, så kallade nematicider, att tillgå i Sverige. Både i Europa och på många andra platser i världen har nematicider förbjudits på grund av att de kan vara skadliga för både människor och andra organismer (Magnusson 2020). Detta innebär att det i dagsläget är förebyggande åtgärder som används för att motverka förekomsten av potatiscystnematoder i Sverige. För att förhindra spridning av potatiscystnematoderna är det viktigt med rengöring av maskiner och redskap mellan bruk av olika fält (Andersson 2018). Nematoderna sprids även via utsäde vilket medför att utsädespotatis måste vara certifierad i Sverige (liksom många andra länder). För att erhålla en certifiering måste utsädesodlare kontinuerligt ta nematodprover på sin jord för att påvisa frånvaro av potatiscystnematoder i utsädesodlingen (Jordbruksverket 2022). När man mäter hur stor en population av nematoder är i ett fält gör man det i antalet ägg/g jord. Förekomsten av potatiscystnematoder bör inte överskrida 2-3 ägg/g jord om man vill ha en normal skörd av potatis (Andersson 2018). För att förhindra uppförökning av potatiscystnematoder i ett fält rekommenderas en växtföljd där potatis odlas högst vart 4:e år i norra Sverige och vart 8:e till 9:e år i södra Sverige (Andersson 1999).

Det finns potatissorter som är resistenta mot *G. pallida* och *G. rosotchiensis*. Vid odling av resistenta potatissorter stimuleras potatiscystnematoderna till att kläckas, men de kommer inte kunna fullfölja sin livscykel. Följaktligen minskar populationen av potatiscystnematoder i jorden med tiden när man odlar resistenta potatissorter (Perry et al. 2018). Om man använder resistenta potatissorter kan potatis därför inkluderas oftare i växtföljden än om man odlar mottagliga sorter (Andersson 1999). Utifrån hur olika populationer av potatiscystnematoder svarar på de resistenta potatissorterna har ett system skapats för att indela populationerna i olika virulensgrupper. Den vita potatiscystnematoden delas in i de två olika virulensgrupperna Pa1 och Pa2,3 och den gula potatiscystnematoden i grupperna Ro1,4 och Ro2,3,5 (Andersson 2018). Tyvärr finns det ingen garanti för att de resistenta potatissorterna kommer kunna fortsätta vara verksamma mot nematoderna. Exempelvis finns det en population av den vita potatiscystnematoden som har övervunnit alla resistenta potatissorter i Europa (Andersson 2018). Om tidigare resistenta potatissorter inte längre kan odlas finns det nästan ingen annan metod att tillgå för att aktivt minska populationerna av potatiscystnematoder. För att hitta nya direkta bekämpningsmetoder mot nematoder i svensk potatisodling kan därför biologiska bekämpningsmedel bli av stor relevans för framtida bekämpning av potatiscystnematoder.

## 1.2 Biologisk bekämpning

Biologisk bekämpning innebär att levande organismer (virus inkluderat) används för att bekämpa, eller begränsa verkan från, en skadegörare för mänsklig vinning (Stenberg et al. 2021). Bekämpningen sker till följd av ekologiska interaktioner mellan organismer, så som exempelvis predation och parasitism. För att något ska definieras som biologisk bekämpning krävs det en interaktion mellan; en biologisk bekämpningsorganism, en skadegörare och en mänsklig intressent som drar nytta av den biologiska bekämpningen (Jonsson et al. 2022). Då biologisk bekämpning kan utföras på olika sätt delar man in begreppet i fyra olika kategorier (Jonsson et al. 2022):

- *Naturlig biologisk bekämpning*: den bekämpning som utförs av redan befintliga naturliga fiender till en skadegörare. Sker utan mänsklig inblandning.
- *Tillsättande biologisk bekämpning*: när man sätter in en nyttoorganism för att kortsiktigt få en större bekämpningseffekt mot skadegöraren.
- *Klassisk biologisk bekämpning*: när man introducerar en ny art till en plats som långsiktigt ska agera som naturlig fiende till skadegöraren.

- *Bevarande biologisk bekämpning*: när man med olika åtgärder främjar de naturliga fiender till en skadegörare som redan finns på en plats för att öka deras bekämpningseffekt.

Det här arbetet kommer fokusera på tillsättande biologisk bekämpning. Tillsättande biologisk bekämpning kan antingen ske med nematoder, insekter och spindlar (NIS) eller med mikroorganismer som bakterier, virus och svampar. NIS går under beteckningen ”biotekniska organismer” och godkännande och spridning av dessa regleras av Naturvårdsverket (Naturvårdsverket u.å.). Mikroorganismer däremot bedöms som verksamma ämnen i de preparat de ingår i och regleras av Kemikalieinspektionen (KEMI) enligt EU:s växtskyddsmedelsförordning. Ett verksamt ämne måste därför vara godkänt på EU-nivå innan ett växtskyddsmedel med ämnet i kan bli godkänt i Sverige (Kemikalieinspektionen u.å.).

### 1.3 Syfte

Syftet med den här litteraturstudien är att undersöka några potentiella organismer som kan användas för tillsättande biologisk bekämpning mot potatis-cystnematoderna *G. pallida* och *G. rostochiensis* och huruvida de är godkända att använda i Sverige.



## 2. Metod

### 2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har utförts genom att läsa vetenskapliga artiklar som hittats med sökningar i databaser. De databaser som använts är Web of Science, PubMed och Google Scholar. Även SLU-bibliotekets söktjänst Primo har använts för att leta fram böcker och artiklar inom ämnet.

För bakgrundinformation om nematodernas biologi och livscykel, samt övergripande information om biologisk kontroll av växtparasitära nematoder, har fakta hämtats ur böcker. Boken "Cyst nematodes" (Perry et al. 2018) har varit en bra grundpelare för att sätta sig in i nematodernas biologi och livscykel och boken "Nematoder som växtskadegörare" (Andersson 2018) har gett en bra översikt av potatiscystnematodernas utbredning och skadebild i Sverige. Boken "Biological Control of Plant-parasitic Nematodes" (Stirling 2014) var användbar för att förklara koncept kring biologisk kontroll.

För att avgöra vilka av kontrollorganismerna från litteraturstudien som även är godkända som verksamma ämnen i Sverige utfördes sökningar på artnamn och släktnamn i KEMI:s bekämpningsmedelsregister under fliken "Ämnesnamn".

### 2.2 Avgränsningar

Litteratursökningarna visade på att det gjorts mycket forskning kring kontrollorganismer mot potatiscystnematoder och därför har detta arbete begränsats till att undersöka svampar och bakterier. Arbetet har även avgränsats till att endast studera de svampar och bakterier som har en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder genom parasitism eller genom att de utsöndrar sekundära metaboliter som påverkar nematoderna negativt.

## 3. Resultat

### 3.1 Verkningsätt hos kontrollorganismer

I jorden lever en mängd olika markorganismer som på olika sätt interagerar med varandra. Vid tillsättandet av kontrollorganismer som kan användas för biologisk bekämpning mot potatiscystnematoder får man en kontrolleffekt genom antagonistiska interaktioner som exempelvis predation och parasitism. Det förekommer även organismer som utsöndrar kemiska substanser som påverkar nematoderna i olika levnadsstadier (Stirling 2014). Då få exempel på predatorer på potatiscystnematoder hittades i litteratursökningen har arbetet fokuserats på parasiter och organismer som utsöndrar kemiska ämnen. Av de organismer som används för biologisk bekämpning mot nematoder är bakterier och svampar de som används mest frekvent (Bilgrami & Khan 2022).

#### 3.1.1 Parasitism

Organismer som parasiterar på potatiscystnematoder återfinns både bland svampar och bakterier, varav dessa kan vara antingen obligata eller fakultativa parasiter (Stirling 2014). De obligata parasiterna kräver en specifik värdorganism (i detta fall en nematod) för att kunna fullgöra sin livscykel. En fakultativ parasit behöver däremot inte en specifik värdorganism för att överleva utan kan också ha andra överlevnadsstrategier, exempelvis leva som saprofyter (livnära sig på dött organiskt material) (Stirling 2014). De nematofaga parasiterna har olika verkningsätt när de infekterar nematoderna och indelningen av verkningsätten skiljer sig åt beroende på om kontrollorganismen är en svamp eller bakterie. Det här arbetet kommer behandla svampar som är cyst- och äggparasiter eller endoparasiter (parasiter som lever inuti nematoderna i de maskformade levnadsstadierna) på potatiscystnematoder, samt bakterier som är obligata parasiter på potatiscystnematoder (Stirling 2014; Askary & Martinelli 2015).

### *Endoparasitära svampar*

Endoparasitära svampar är obligata parasiter på nematoder som genomgår sitt vegetativa stadiet inuti nematodens kropp (Bilgrami & Khan 2022). De infekterar nematoderna med sporer (zoosporer eller konidier) som kommer i kontakt med nematoderna när de rör sig genom porer i jorden. Sporererna kan antingen förtäras av nematoden, fästa vid nematodens kutikula eller aktivt söka upp nematoden (gäller för zoosporer) (Askary & Martinelli 2015). När konidier grov penetrerar de nematodens kutikula dels enzymatiskt och dels mekaniskt med ett appresorium (en specialiserad cell som utsätter nematodens kutikula för ett tryck). Väl inuti nematoden tillväxer hyfer och även konidioforer bildas där nya konidier skapas (Zhang et al. 2020). Zoosporer sätter sig ofta nära någon av nematodens kroppsöppningar där de innesluter sig i en cysta. Zoosporerna bildar sedan en penetrationstub och kan även utsöndra enzymer för att ta sig in i nematodens kropp (Askary & Martinelli 2015). Väl inne i nematodens kropp bildas hyfer och zoosporangier från vilka nya zoosporer skapas (Bilgrami & Khan 2022).

### *Ägg- och cystparasiterande svampar*

Svampar som i det här arbetet benämns ägg- och cystparasiter kan även benämnas som ägg – och honparasiter (Stirling 2014; Askary & Martinelli 2015; Zhang et al. 2020). Infektionen initieras genom att svampens hyfer växer mot äggen och fäster vid dessa med hjälp av glykoproteiner och ett appresorium (Zhang et al. 2020). Hyferna växer sedan runt äggen och bryter sig igenom äggens olika lager, både kemiskt med olika enzymer och fysiskt. När hyferna väl vuxit in i ägget konsumerar de näringen som finns i nematodäggen och juvenilerna inuti äggen dör (Bilgrami & Khan 2022).

### *Obligat parasiterande bakterier*

De främsta obligata parasiterna bland bakterier tillhör släktet *Pasteuria* spp. När det kommer till hur *Pasteuria* bakterier interagerar med potatiscystnematoder har dock inte så mycket forskning utförts (Davies et al. 2015). För att förklara hur *Pasteuria* spp. infekterar en nematod utgår vi därför ifrån *P. penetrans* och dess värdorganism rotgallnematoder. En infektion börjar med att endosporer av *Pasteuria* som ligger spridda i marken vidhäftar vid J2 som letar efter sina värdväxter. Efter att J2 har tagit sig in i växtrötterna börjar endosporerna gro och nematoden penetreras med en ”bakterie-tub” (engelska: germ tube). Väl inne i nematoden tillväxer hyfer in i honans kroppshåla som med tiden mognar och bildar endosporer. Detta leder till att honan bildar färre ägg och att nematoderna därav får minskad reproduktion. Slutligen dör nematoden och när kroppen bryts ner kommer endosporerna från *Pasteuria* att spridas i marken och därefter kunna infektera nya nematoder (Mateille et al. 2010).

### 3.1.2 Antibios

En antagonistisk interaktion där en organism utsöndrar sekundära metaboliter som påverkar en annan organism negativt kallas för antibios (Nehra et al. 2021). Termen antibios används ofta för att beskriva bakterier och svampar vars utsöndring av sekundära metaboliter påverkar andra mikroorganismer negativt (Nationalencyklopedin 2023). Exempel på sådana sekundära metaboliter är toxiner, antibiotika och flyktiga organiska ämnen (VOC) (Stirling 2014; Migunova & Sasanelli 2021). Ur biologisk kontrollsynpunkt kan de sekundära metaboliterna utnyttjas för att få en kontrolleffekt mot växtskadegörare (Nehra et al. 2021). För nematoderna bidrar de sekundära metaboliterna till en minskning i reproduktion, aktivitet hos juvenilerna och livsduglighet hos äggen eller kan till och med vara direkt dödliga (Askary & Martinelli 2015). Ibland ingår antibios i mikroorganismernas infektionsprocess på nematoderna (Stirling 2014) och produkterna från interaktionen kan i vissa fall förse mikroorganismerna med näring vilket medför att antibios i de lägena kan ses som en form av opportunistisk parasitism (Widianto et al. 2021). Dock beskrivs antibios ofta som en form av ammensalism, vilket innebär att nematoden i det här fallet påverkas negativt av interaktionen, medan bakterien eller svampen förblir opåverkad (Britannica u.å.).

## 3.2 Bakterier

Växter utsöndrar en stor del av sin energi i form av kolrika rotexudat vilka bland annat kan ge näring till många – för växten – nyttoorganismer, som exempelvis rhizobakterier (bakterier som lever i rotzonen). Rhizobakterier kan vara tillväxtfrämjande för växten och motverka olika typer av växtskadegörare (Stirling 2014). De bakterier som omfattas av det här arbetet som biologiska kontrollorganismer mot potatiscystnematoder återfinns inom släktena *Pseudomonas*, *Bacillus* och *Pasteuria*. Bakteriesläktenas verkningsätt mot potatiscystnematoderna samt de arter av potatiscystnematod som släktena har visat sig ha en kontrolleffekt mot har sammanfattats i Tabell 1. Bakterier från släktena *Pseudomonas* och *Bacillus* kan ha en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder genom antibios (Migunova & Sasanelli 2021). Studier har visat att *Pseudomonas* spp. och *Bacillus* spp. kan verka antagonistiskt mot båda arterna av potatiscystnematod (Tabell 1) (Racke & Sikora 1992; Cronin et al. 1997; Trifonova 2010; Trifonova et al. 2014; Nagachandrabose 2020). Släktet *Pasteuria* har direkt verkningsätt mot nematoder genom parasitism och är en obligat parasit (Tabell 1). Däremot har studier hittills visat att endast *G. pallida* kan parasiteras av *Pasteuria* spp. (Mohan et al. 2012). I följande avsnitt kommer släktena *Pseudomonas*, *Bacillus* och *Pasteuria* tas upp mer ingående.

Tabell 1. Bakterier som är biologiska kontrollorganismer mot potatiscystnematoder, deras verkningsätt och vilken/vilka arter av *Globodera* spp. de har en kontrolleffekt mot.

Biologisk kontrollorganism	Verkningsätt	Arter där kontrolleffekt uppvisats
<i>Pseudomonas</i> spp.	Antibios	<i>G. pallida</i> och <i>G. rostochiensis</i>
<i>Bacillus</i> spp.	Antibios	<i>G. pallida</i> och <i>G. rostochiensis</i>
<i>Pasteuria</i> spp.	Obligat parasit	<i>G. pallida</i> ,

### 3.2.1 *Pseudomonas* spp.

Bakterier i *Pseudomonas*släktet är gramnegativa bakterier som tillhör familjen *Pseudomonadaceae* och utgör en stor del av mikrosamhället i jorden. *Pseudomonas* bakterier har egenskaper som främjar tillväxten hos växter genom att exempelvis frigöra fosfat eller producera tillväxtfrämjande substanser (Misra et al. 2022). *Pseudomonas* bakterier producerar även sekundära metaboliter som är effektiva för biologisk kontroll av växtparasitära organismer (Misra et al. 2022). Bakteriernas verkningsätt mot potatiscystnematoder är därför genom antibios, exempelvis genom att utsöndra vätecyanid eller antibiotika (Migunova & Sasanelli 2021).

I ett krukförsök testades arterna *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* och *Pseudomonas aurantiacea* som kontrollorganismer mot *G. rostochiensis* (Trifonova et al. 2014). Alla behandlingar minskade nematodtätheten samt förbättrade tillväxten hos potatisplantorna jämfört med de obehandlade plantorna. Den ökade tillväxten i de behandlade plantorna berodde på att *Pseudomonas*-bakterierna höll tillbaka nematodreproduktionen. I de krukor som fått behandling med *P. putida* eller *P. aurantiacea* minskad uppförökningen av *G. rostochiensis* med 42,2% respektive 40,7%. Stammarna av *P. fluorescens* var inte lika effektiva på att minska antalet nya cystor som stammarna av *P. putida* och *P. aurantiacea*. Studiens slutsats var att mer forskning bör riktas in på att hitta fler effektiva stammar som är antagonistiska mot nematoder och att användandet av *Pseudomonas* spp. bör kombineras med andra metoder eftersom en bekämpningseffekt om 42% inte motsvarar den bekämpningseffekt man får från kemiska nematicider (Trifonova et al. 2014).

I ett annat experiment studerade Cronin et al. (1997) hur en stam av *P. fluorescens*, som producerar 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG), påverkar kläckningsförmågan och livsdugligheten av juveniler av *G. rostochiensis*. DAPG är en sekundär metabolit som fungerar som ett antibiotikum (Migunova & Sasanelli 2021). Studien visade att *P. fluorescens*-stammen under in vitro förhållanden ökade kläckningen hos *G. rostochiensis* om bakterien tillsattes i koncentrationen  $10^7$  CFU/ml buffert eller högre. När juvenilerna exponerades för bakterien ledde det även till en trefaldig minskning i juvenilernas rörlighet jämfört med kontrollen som inte blivit inockulerad med bakteriestammen (Cronin et al. 1997).

I en studie av Nagachandrabose (2020) behandlades utsäde med *P. flourescens* och planterades i två olika fält med känd förekomst av *G. pallida* och *G. rostochiensis*. Behandlingen resulterade i att mängden ägg i jorden minskade med 57,3 % och att mängden cystor minskade med 48,3%. Bakterien etablerade sig bra på rötterna och överlevde fram till skörden. *Pseudomonas flourescens* hade även tillväxtfrämjande egenskaper vilket visade sig i att avkastningen av potatisknölar ökade med 16,1% (Nagachandrabose 2020).

### 3.2.2 *Bacillus* spp.

Bakterier i Bacillusläktet är grampositiva bakterier som tillhör familjen Bacillaceae. *Bacillus* bakterier bildar endosporer som tål kraftiga påfrestningar från omgivningen och används redan kommersiellt, både som tillväxtstimulerare och i biopesticider (Kumar et al. 2020). *Bacillus* bakterier verkar nematodhämmande genom antibios och de utsöndrar bland annat VOC:s och toxiner (Migunova & Sasanelli 2021). De kan även utsöndra lytiska enzym som exempelvis kitinaser och proteaser som bryter ned kitin och protein i nematodernas äggskal, vilket bidrar till att *Bacillus* spp. kan ha en bekämpningseffekt om 50% eller mer på potatiscystnematodernas ägg (Widianto et al. 2021). Bland *Bacillus* bakterierna finns det en art som heter *Bacillus thuringiensis*. Specifikt för *B. thuringiensis* är att den bildar proteiner som kallas Cry. Dessa proteiner passera lätt genom mun delen på växtparasitära nematoder och kan ofta vara mycket giftiga. Idag finns det flera olika biologiska preparat på marknaden utanför Sverige som innehåller olika arter av *Bacillus* bakterier som verksamt ämne, vilka är ämnade för bekämpning av växtparasitära nematoder (Migunova & Sasanelli 2021).

I en studie utförd av Racke och Sikora (1992) studerades inverkan av *Bacillus sphaericus* på *G. pallida*. *Bacillus sphaericus* reducerade rotpenetrationen av *G. pallida* med 24% och 41% i två olika experiment (Racke & Sikora 1992). I en annan studie där potatisgroddar infekterades med *G. rostochiensis* och sedan behandlades med två olika preparat innehållandes *B. thuringiensis* gav bakterierna en signifikant tillväxt hos de inockulerade plantorna och potatisens avkastning ökade med 8,2% respektive 9,9% (Trifonova 2010). Nittio dagar efter inockuleringen av bakterierna hade 31,5% och 28,1% av honorna infekterats och nematodernas reproduktionen minskade med 30,5% respektive 33,3% jämfört med kontrollen (Trifonova 2010).

### 3.2.3 *Pasteuria* spp.

Bakterier av släktet *Pasteuria* tillhör familjen Pasteuriaceae och är grampositiva bakterier som kan bilda endosporer (Sayre et al. 2015). *Pasteuria* spp. är obligata parasiter på nematoder och därför har de forskats på som biologiska kontrollorganismer mot nematoder. Exempelvis har arten *Pasteuria penetrans* visat sig vara en obligat parasit på rotgallnematoder (*Meloidogyne* spp.) och arten *Pasteuria nishizawae* parasiterar på cystnematoder av släktet *Heterodera* (Mohan et al. 2012).

I en studie av Mohan et al. (2012) isolerades en oidentifierad art av *Pasteuria* från duvärtcystnematoder (*Heterodera cajani*) från Indien. Isolatet av *Pasteuria* användes sedan för att se huruvida infektion uppstod i en population av *G. pallida* från Storbritannien. Resultatet av studien visade att *Pasteuria* sp. både fäste vid J2 och kunde fullfölja sin livscykel i *G. pallida*. Man observerade även att de honor som blivit infekterade med *Pasteuria* inte hade några ägg. När man gjorde en genetisk analys av bakterien visade det sig att den var besläktad till 98,6% med *Pasteuria nishizawae* (Mohan et al. 2012). Även om studien visar att *Pasteuria* spp. kan parasitera på potatiscystnematoder krävs mer forskning för att ta reda på hur stor kontrolleffekt bakterierna har på potatiscystnematoder.

Man har i försök sett att endosporer från *P. nishizawae* kan fästa vid *G. rostochiensis*, men att *P. nishizawae* fäster vid *G. rostochiensis* behöver inte innebära att *G. rostochiensis* är en värdorganism. Man har än så länge inte kunnat bevisa att *P. nishizawae* kan orsaka infektion eller fullfölja sin livscykel i *G. rostochiensis* (Sayre et al. 2015).

*Pasteuria* spp. har en tendens att lakas ut eller bli otillgängliga i jorden eftersom bakterierna är känsliga för vilken typ av struktur jorden har (Stirling 2014). Exempelvis finns det forskning som visar på att endosporerna från *Pasteuria* kan perkolera ner i profilen i grovkorniga sandjordar vilket medför att bakterierna inte längre befinner sig i rhizosfären med de växtparasitära nematoderna (Mateille et al. 2010). Följaktligen lämpar sig *Pasteuria* spp. bättre som biologisk kontrollorganism på vissa typer av jordar (Stirling 2014). Däremot är släktet tåligt. Exempelvis har arten *P. penetrans* visat sig ha god livsduglighet även vid avsaknad av värdorganismer och är tolerant mot kemiska bekämpningsmedel (Bilgrami & Khan 2022).

### 3.3 Svampar

Nematofaga svampar återfinns i många olika taxonomiska grupper, men har gemensamt att de dödar nematoder och utnyttjar dessa som näringskälla (Stirling 2014). Nematofaga svampar är mikroskopiska och använder flera olika tekniker för att döda och konsumera nematoderna. De svampar som tas upp som biologiska kontrollorganismer mot *Globodera* spp. i arbetet, deras verkningssätt och deras värdarter av potatiscystnematod har sammanfattats i Tabell 2. De svampar som påträffades i litteraturstudien som cyst- och äggparasiter var *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum*, *Verticillium leptobactrum* och arter inom Trichodermasläktet (Tobin et al. 2008; Trifonova 2010; Contina et al. 2017; Hajji et al. 2017; Nagachandrabose 2020). Svampen *Hirsutella rhossiliensis* har endoparasitism som verkningssätt (Velvis & Kamp 1996). Samtliga av dessa svampar parasiterar på båda arterna av potatiscystnematoder förutom *V. leptobactrum* och *H. rhossiliensis* som i omfattningen av den här litteraturstudien endast visat sig ha en kontrolleffekt mot *G. pallida* (Tabell 2) (Velvis & Kamp 1996; Hajji et al. 2017). Vissa svampar påverkar även nematoderna genom antibios, exempelvis *Trichoderma* spp. (Nehra et al. 2021). I följande avsnitt kommer ovan nämnda svampar att tas upp mer ingående.

Tabell 2. Svampar som är biologiska kontrollorganismer mot *Globodera* spp., deras verkningssätt och vilken/vilka arter av *Globodera* spp. de infekterar.

Biologisk kontrollorganism	Verkningssätt	Känd värdart
<i>Hirsutella rhossiliensis</i>	Endoparasit	<i>G. pallida</i>
<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Cyst – och äggparasit	<i>G. pallida</i> och <i>G. rostochiensis</i>
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Cyst – och äggparasit	<i>G. pallida</i> och <i>G. rostochiensis</i>
<i>Verticillium leptobactrum</i>	Cyst – och äggparasit	<i>G. pallida</i>
<i>Trichoderma</i> spp.	Cyst– och endoparasit	<i>G. pallida</i> och <i>G. rostochiensis</i>

#### 3.3.1 *Hirsutella rhossiliensis*

*Hirsutella rhossiliensis* är en svamp som tillhör familjen Ophiocordycipitaceae. Svampen är en obligat parasit på nematoder och angriper både frilevande- och växtparasitära nematoder när de är fritt rörliga i jorden (Stirling 2014), dvs i J2-stadiet för potatiscystnematoden (mellan kläckning och penetration av roten) (Velvis & Kamp 1996). *Hirsutella rhossiliensis* infekterar nematoder genom att dess sporer fäster vid nematoden och därefter penetrerar nematodens kutikula när sporerne gro. När svampen växer i nematodens kroppshåla leder det till att nematoden dör. Från nematodkadavret växer det ut hyfer med sporer, vilka sedan kan fästa vid förbipasserande nematoder (Stirling 2014). *Hirsutella rhossiliensis* är mest aktiv i jordar som har en textur där porerna (mellanrum mellan jordpartiklar i marken) inte är för stora då för stora porer leder till att nematoderna inte kommer i kontakt med sporerne från svampen (Liu & Chen 2009).



Velvis och Kamp (1996) studerade hur olika mängder av *H. rhossiliensis* i jorden påverkade rotpenetrationen och cystbildningen av *G. pallida*. Studien visade att *H. rhossiliensis* kan motverka rotpenetration hos *G. pallida*, men hade däremot ingen påverkan på cystbildningen. I jordar som hade inokulerats med  $2,5 \times 10^4$  och  $10^5$  sporer  $\text{g}^{-1}$  jord blev resultatet att rotpenetrationen förhindrades med 30% respektive 34%. Velvis och Kamp (1996) utförde även samma experiment fast med mycelfragment som inockulum. I detta experiment minskade rotpenetrationen med 54% och 88% vid inockulum med 1500 respektive 15 000 fragmenterade mycelkolonier. Slutsatsen enligt Velvis och Kamp (1996) var att *H. rhossiliensis* kan vara effektiv för att motverka rotskador på potatis orsakade av *G. pallida* (och därmed minska skördeförkluster), men att den inte är effektiv för att begränsa populationen av potatiscystnematoderna.

Problem som kan uppstå med *H. rhossiliensis* är att enskilda sporer kan ha svårt för att fästa vid nematoderna för att sedan inleda infektion. En annan nackdel med *H. rhossiliensis* är att svampen växer långsamt och därför kan vara svår att etablera som biologisk kontrollorganism (Mhatre et al. 2022). För att *H. rhossiliensis* ska bli en effektiv biologisk kontrollorganism mot potatiscystnematoder krävs mer forskning för att hitta effektivare isolat av svampen samt en optimal formel för spridning i fält (Velvis & Kamp 1996).

### 3.3.2 *Pochonia chlamydosporia*

*Pochonia chlamydosporia* (ursprungligen beskriven som *Verticillium chlamydosporium*) tillhör familjen Clavicipitaceae och är en svamp som kan parasitera cystor och ägg hos cystnematoder (Stirling 2014). *Pochonia chlamydosporia* är mycket anpassningsbar då den kan variera mellan att vara saprofyt (leva av döda organismer), endofyt (leva i växtvävnad utan att orsaka skada) eller parasit av nematoder (när nematoder finns närvarande) (Kumar et al. 2020). *Pochonia chlamydosporia* infekterar cystnematoder genom att dess hyfer tränger in i honorna för att komma åt äggen de bär på. Svampen börjar sedan producera metaboliter (exempelvis glykoproteiner) för att hyferna ska kunna fästa på äggens ytor (Kumar et al. 2020). Efter detta kan *P. chlamydosporia* bilda en specialiserad cell längst ut på hyferna som används för att tränga in i äggen. Även flera olika enzymer produceras för att *P. chlamydosporia* ska kunna ta sig igenom äggens yttre lager. Slutligen livnär sig svampen på näringsämnen i äggens inre vävnader (Avelar Monteiro et al. 2020).

Tobin et al. (2008) studerade hur *P. chlamydosporia* och en nematicid (fosthiazate) påverkade uppföringshastigheten av *G. pallida* och *G. rostochiensis* i fältexperiment. Fälten fick fyra olika behandlingar; obehandlad kontroll, fosthiazate, *P. chlamydosporia* eller fosthiazate och *P. chlamydosporia* i

kombination. Experimentet genomfördes under två på varandra följande år. I de fält där man tillsatt *P. chlamydosporia* minskade uppförökningshastigheten av potatiscystnematoderna under år ett och år två med 48% respektive 51%. Man såg även att *P. chlamydosporia* var lika effektiv som nematiciden då det inte fanns någon signifikant skillnad i resultatet för uppförökningshastigheten mellan behandlingarna av *P. chlamydosporia*, fosthiazate eller båda i kombination. Resultatet visar även att det går att kombinera *P. chlamydosporia* med fosthiazate. Eftersom effektiviteten av bekämpningen varierade mellan endast 48-51% anser Tobin et al. (2008) att *P. chlamydosporia* hade fungerat bäst i kombination med andra metoder i bekämpningsstrategin mot potatiscystnematoder.

*Pochonia chlamydosporia* är en utav de mest studerade nematofaga svamparna och i många länder har man använt svampen för att skapa biologiska preparat mot nematoder (Kumar et al. 2020). Förutom att svampen är effektiv som biologisk kontrollorganism har den även möjlighet att främja tillväxt och inducera systemisk resistens hos växterna (Kumar et al. 2020). *Pochonia chlamydosporia* kan även bilda klamydosporer vilket är en tålig överlevnadsstruktur (Stirling 2014).

### 3.3.3 *Verticillium leptobactrum*

*Verticillium leptobactrum* är en svamp som tillhör familjen Plectosphaerellaceae. Som nämnt ovan tillhörde *P. chlamydosporia* tidigare släktet *Verticillium*. Precis som *P. chlamydosporia* har *V. leptobactrum* därför verknings sätt mot potatiscystnematoder som cyst- och äggparasit (Hajji et al. 2017). Andra arter inom *Verticillium*släktet brukar även kunna vara endoparasiter (Bilgrami & Khan 2022).

Hajji et al (2016) utförde en studie i växthus där man utvärderade potentialen av att använda *V. leptobactrum* för biologisk kontroll av *G. pallida*. I experimentet inokulerades potatisplantor med en 10 ml lösning innehållandes  $10^6$  sporer  $\text{ml}^{-1}$  av *V. leptobactrum* och en lösning innehållandes 2500 J2 från *G. pallida*. Efter 117 dagar utvärderades plantorna vilket visade att förekomsten av *G. pallida* hade minskat med 83% i potatisplantornas rötter och med 66% i jorden i de krukor där *V. leptobactrum* tillsatts till jorden jämfört med en kontroll som endast inokulerats med *G. pallida*. Resultatet visade även att *V. leptobactrum* minskade uppförökningshastigheten hos potatiscystnematoderna samt ökade knölvikten hos varje potatisplanta jämfört med både de infekterade och de friska kontrollerna. *Verticillium leptobactrum* hade även en positiv effekt på både skottvikten och planthöjden hos potatisplantorna. Det anses dock behövas mer forskning för att optimera *V. leptobactrum* som biologisk kontrollorganism mot potatiscystnematoder (Hajji et al. 2017).

### 3.3.4 *Purpureocillium lilacinum*

*Purpureocillium lilacinum* (tidigare kallad *Paecilomyces lilacinus*) tillhör familjen Ophiocordycipitaceae och är en art av filamentösa svampar som parasiterar ägg och cystor av potatiscystnematoder. *Purpureocillium lilacinum* har ett brett värdspektrum och har visat sig vara effektiv för biologisk kontroll av nematoder. Därför finns *P. lilacinum* med som aktiv substans i många produkter mot nematoder (bland annat cystnematoder) världen över (Perry et al. 2018). *Purpureocillium lilacinum* infekterar cystnematodernas ägg genom att hyfer växer på äggets yta och gör ytan platt. Mot den platta ytan bildas ett appressorium från svampens hyfer, som används för att penetrera ägget. Väl inne i ägget förstör hyferna juvenilen och tar del av näringen i ägget (Bilgrami & Khan 2022). *Purpureocillium lilacinum* producerar även en rad enzymer som tros utgöra en del av infektionsprocessen på nematoderna (Stirling 2014).

Hajji et al. (2017) undersökte vilken effekt en kommersiell produkt innehållandes *P. lilacinum* hade på *G. pallida* i ett experiment där potatis odlades i krukor. I jorden som inokulerats med *P. lilacinum* skedde en reducering av utvecklingen av *G. pallida* i rötterna med 76% och i jorden med 61%. Inockulering med *P. lilacinum* medförde även att färskvikten i skottet på potatisplantorna ökade med 94% jämfört med plantor som infekterats med *G. pallida* men inte inockulerats med *P. lilacinum*. Slutsatsen av studien var att *P. lilacinum* är en effektiv biologisk kontrollorganism mot *G. pallida*, men att mer forskning krävs för vilken form som *P. lilacinum* kan appliceras i och vilka långtidseffekter svampen kan få för andra mikroorganismer (Hajji et al. 2017).

Nagachandrabose (2020) utförde en studie i fält där effektiviteten av *P. lilacinum* i flytande form för att motverka *G. pallida* och *G. rostochiensis* undersöktes. *Purpureocillium lilacinum* applicerades antingen som en behandling på utsädespotatisen eller genom att vattnas ut på jorden. Resultatet visade att *P. lilacinum* koloniserade rötterna hos potatis 3,1–3,6 gånger bättre vid applicering på jorden än vid behandling av utsädet. Vid utvattning med *P. lilacinum* minskade rotpenetrationen av *G. pallida* med 64,4–68,1% och av *G. rostochiensis* med 64,8–69,1%. Man såg även att behandlingen minskade uppförökningen av *G. pallida* och *G. rostochiensis* med 80,7–84,3% samt att äggtätheten minskade med 80,9–85%. Utifrån resultatet drog Nagachandrabose (2020) därför slutsatsen att en effektiv behandling mot potatiscystnematoder med *P. lilacinum* är genom utvattning på jorden med en suspension av  $4 \times 10^9$  konidier  $\text{ml}^{-1}$  i mängden  $5\text{L ha}^{-1}$ . Behandling med *P. lilacinum* i flytande form gav lika bra kontroll av potatiscystnematoderna som nematiciden Carbofuran, däremot krävs mer forskning för att förstå verkningsmekanismerna hos *P. lilacinum*. Ytterligare ett förslag var att undersöka hur kombinationer av olika mikroorganismer påverkar hanteringen

av potatiscystnematoderna, exempelvis att kombinera *P. lilacinum* med *P. fluorescens* (Nagachandrabose 2020).

### 3.3.5 *Trichoderma* spp.

*Trichoderma* spp. är filamentösa svampar som koloniserar rhizosfären och svampen är en viktig komponent i nematodhämmande jordar. Svampen parasiterar både cystor och juveniler av cystnematoder (Poveda et al. 2020), men kan även verka antagonistiskt genom antibios (Brotman et al. 2010). Förutom att användas som biologisk kontrollorganism mot nematoder så används *Trichoderma* svampar även mot växtparasitära svampar. En annan positiv egenskap som *Trichoderma* svampar har är att de främjar tillväxt hos grödor vilket kan medföra en positiv inverkan på grödornas avkastning (Brotman et al. 2010). Det finns flera preparat mot växtparasitära nematoder innehållandes *Trichoderma* spp. på marknaden i exempelvis Indien, USA och Colombia (Askary & Martinelli 2015).

*Trichoderma harzianum* av stammen ThzID1-M3, som transformerats för att uttrycka grönt fluorescerande protein (GFP), användes av Contina et al. (2017) för att studera de biologiska kontrollprocesserna av *T. harzianum* i *G. pallida*. Resultatet 45 dagar efter inokulering visade att *T. harzianum* minskade infektionsfrekvensen av J2 g<sup>-1</sup> rot med 67% jämfört med obehandlad kontroll. Även förekomsten av antalet J4 g<sup>-1</sup> rot minskade med 84% och den genomsnittliga torrvikten av potatisrötterna ökade med 62% i plantorna behandlade med *T. harzianum*. 75 dagar efter inokulering visade mätningar av ägg g<sup>-1</sup> jord en minskning av ägg från *G. pallida* i jord behandlad med *T. harzianum* som innebar en minskning av nematodreproduktionen med 60%. Man såg även att antalet cystor från *G. pallida* minskat med 49% (Contina et al. 2017).

I en studie utförd av Trifonova (2010) undersöktes potentialen av ett oidentifierat isolat av *Trichoderma* svamp som biologisk kontrollorganism mot *G. rostochiensis*. I växthus inockulerades potatisgroddar med 50 cystor av *G. rostochiensis* och 1,5 eller 10 g mycelium från svampen per kruka. 90 dagar efter behandlingen såg man att *Trichoderma* spp. hade minskat reproduktionen av *G. rostochiensis* då antalet nybildade cystor minskat med 36 - 41,6% jämfört med kontrollen beroende på den ursprungliga mängden mycelium som tillsats. Mängden honor som infekterats av *Trichoderma* spp. varierade mellan 29,6 – 49,3%. Applicering av *Trichoderma* spp. i jorden medförde även en ökning av avkastningen på potatisen med 6,6% jämfört med plantor som endast infekterats med *G. rostochiensis* (Trifonova 2010).

### 3.4 Godkända organismer i Sverige

Av de bakterier och svampar som har undersökts i arbetet är det i släktena *Pseudomonas*, *Bacillus* och *Trichoderma* som det finns arter godkända som verksamma ämnen i Sverige idag enligt KEMI:s bekämpningsmedelsregister (Kemikalieinspektionen 2022). Inom släktet *Pseudomonas* finns två olika godkända organismer; en stam samt arten *Pseudomonas chloraphis* som används som betmedel (Tabell 3). Inom släktet *Bacillus* finns det flertalet godkända arter, exempelvis *B. thuringiensis* och *Bacillus amyloliquefaciens* (Tabell 3), som bland annat används som direkta bekämpningsmedel eller betmedel mot insekter. Arten *Bacillus firmus* används som betmedel på utsäde av sockerbetor och foderbetor mot betcystnematod och stjälnematod. Inom släktet *Trichoderma* finns det fem olika organismer godkända, bland annat *Trichoderma viride* och två olika stammar av *Trichoderma harzianum* (Tabell 3) som enligt bekämpningsmedelsregistret används till bekämpning av svampangrepp hos flertalet växter.

Tabell 3. Sammanställning av vilka av arterna/släktena som behandlats i arbetet som är godkända i Sverige enligt KEMI:s bekämpningsmedelsregister.

Biologisk kontrollorganism	Godkänd i Sverige	Godkända organismer
<i>Pseudomonas</i> spp.	Ja	<i>Pseudomonas</i> Sp stam DSMZ 13134 och <i>P. chloraphis</i>
<i>Bacillus</i> spp.	Ja	<i>B. thuringiensis</i> (6 stammar), <i>B. firmus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> (2 stammar) och <i>B. amyloliquefaciens</i> (3 stammar).
<i>Pasteuria</i> spp.	Nej	-
<i>Hirsutella rhossiliensis</i>	Nej	-
<i>Pochonia chlamydosporia</i>	Nej	-
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	Nej	-
<i>Verticillium leptobactrum</i>	Nej	-
<i>Trichoderma</i> spp.	Ja	<i>T. viride</i> , <i>T. atroviride</i> , <i>T. polysporum</i> och <i>T. harzianum</i> (2 stammar)

## 4. Diskussion

### 4.1 Utvärdering av kontrollorganismer

I arbetet har biologiska kontrollorganismer ur rikena svampar och bakterier undersökts som uppvisat en varierande kontrolleffekt mot potatiscystnematoderna *G. pallida* och *G. rostochiensis*. Det är svårt att bedöma om en kontrollorganism har en bättre kontrolleffekt än en annan eftersom omfattningen av arbetet inte varit tillräcklig för att gå igenom all befintlig litteratur kring kontrollorganismerna och då försöken som tagits upp i arbetet inte har utförts på samma premisser. Därför kommer kontrollorganismerna här att utvärderas efter andra egenskaper än bekämpningseffekten och huruvida de lämpar sig för biologisk bekämpning mot potatiscystnematoder under fältförhållanden.

De flesta organismerna har uppvisat en kontrolleffekt mot både *G. rostochiensis* och *G. pallida*. Dock finns det en osäkerhet kring om *Pasteuria* spp., *H. rhossiliensis* och *V. leptobactrum* har en kontrolleffekt mot båda arterna då studier endast visat att organismerna kan infektera *G. pallida*. Därför kan man behöva ta hänsyn till vilken art av potatiscystnematod man har om man väljer att använda ett biologiskt bekämpningspreparat som innehåller *Pasteuria* spp., *H. rhossiliensis* eller *V. leptobactrum*.

I de studier som har tagits upp i arbetet har majoriteten av organismerna testats i växthus och inte under fältförhållanden. Det innebär att det skulle behövas mer forskning för att undersöka om organismerna lämpar sig som biologiska kontrollorganismer i potatisodlingar. För att organismerna ska vara effektiva i fält måste de klara av både de biotiska och abiotiska förhållanden som råder i ett potatisfält. Exempelvis kan användning av *Pasteuria* bakterier vara olämpliga mot potatiscystnematoder eftersom potatis ofta odlas på lätta jordar där dessa bakterier kan ha problem med att hålla sig kvar i rotzonen. Ett annat exempel är *Hirsutella rhossiliensis* som, även om den har uppvisat en bekämpningseffekt mot potatiscystnematoderna, tillväxer långsamt och därför lämpar sig sämre som biologisk kontrollorganism om inte ett effektivare isolat hittas. För att etablera sig i jorden behöver kontrollorganismerna också kunna konkurrera med övriga organismer i rhizosfären.

Eftersom potatiscystnematoder spenderar en stor del av sin livscykel inuti roten kan de vara svåråtkomliga för många biologiska kontrollorganismer. Av den anledningen kan ägg-och cystparasiter vara effektivare mot sedentära nematoder än de organismer som parasiterar på potatiscystnematoderna i de levnadsstadier när de rör sig fritt i jorden (Askary & Martinelli 2015). Med detta i åtanke kan endoparasiterna *Pasteuria spp.* och *H. rhossiliensis* bli mindre intressanta för biologisk bekämpning av potatiscystnematoder.

Förutom att de mikroorganismer som tagits upp i arbetet har en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder kan de ha ytterligare fördelaktiga effekter. Positiva bieffekter av att tillsätta exempelvis *P. chlamydosporia* eller arter inom *Bacillus spp* är att de inducerar systemisk resistens hos växten. Denna systemiska resistens leder till att potatiscystnematoderna får det svårare att infektera potatisen. Det kan exempelvis röra sig om att växten börjar producera ämnen som är toxiska för nematoderna eller om fysiologiska förändringar som gör det svårare för nematoden att penetrera potatisrötterna (Stirling 2014). Systemisk resistens kan även ge potatisen ett ökat skydd mot andra växtskadegörare än potatiscystnematoder. En annan positiv bieffekt vid tillsättande av vissa biologiska kontrollorganismer är att de kan ha en tillväxtstimulerande effekt hos grödan. Att man både får en bekämpningseffekt av potatiscystnematoder och en tillväxtstimulering hos plantan kan i många fall leda till en ökad avkastning av potatisknölar. Det medför att det av ekonomiska skäl kan vara extra intressant att titta på de biologiska kontrollorganismer som även är tillväxtstimulerande, som exempelvis arter inom släktena *Pseudomonas*, *Trichoderma* och *Bacillus*.

## 4.2 Bekämpningsorganismer med potential i Sverige

Även om flera av organismerna som tagits upp i arbetet uppvisar god bekämpningseffekt mot potatiscystnematoder är det bara i tre av släktena som det finns organismer som i nuläget kan brukas i Sverige; *Pseudomonas*, *Bacillus* och *Trichoderma*. Detta på grund av att användning av de andra organismerna begränsas av att de inte är godkända som verksamma ämnen av KEMI (Kemikalieinspektionen 2022). I dagsläget är det dock inga av de godkända kontrollorganismer som används för bekämpning av potatiscystnematoder i Sverige. Däremot används arten *B. firmus* som kontrollorganism mot betcystnematoder och hade därför även varit intressant att testa som kontrollorganism mot potatiscystnematoder. De arter som har tagits upp i arbetet som även är godkända i KEMI:s bekämpningsmedelsregister är *T. harzianum* och *B. thuringiensis*. Det finns preparat som innehåller olika stammar av *B. thuringiensis* för användning mot fjärilslarver och mygglarver. Vad gäller *T. harzianum* finns arten med som verksamt ämne i produkter mot svampangrepp i

bland annat grönsaksodling (Kemikalieinspektionen 2022). *Trichoderma Harzianum* används som verksamt ämne i preparat mot växtparasitära nematoder i flera länder (Askary & Martinelli 2015) och det finns därför potential att utforma arten som biologiskt bekämpningspreparat mot potatiscystnematoder även i Sverige. Dock kan de isolat som är godkända i Sverige ha en annan bekämpningseffekt än de isolat som använts i studierna. För att ta reda på om de godkända kontrollorganismerna är effektiva i Sverige krävs därför vidare forskning på hur de klarar sig under svenska odlingsförhållanden. Exempelvis har ingen av studierna som tagits upp i arbetet utförts i Sverige, vilket innebär att den kontrollnivå som uppnåtts i studierna inte nödvändigtvis är applicerbar på potatisodling i Sverige. De två arterna av *Pseudomonas* bakterier som finns godkända i bekämpningsmedelsregistret (Tabell 3) har inte omfattats av litteraturstudien och därför kan det inte antas att de har en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder. Däremot har flertalet andra arter ur släktet *Pseudomonas* uppvisat en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder och därför hade det varit intressant att undersöka huruvida även de godkända *Pseudomonas*-arterna ger en kontrolleffekt mot potatiscystnematoder.

Eftersom litteraturstudiens omfattning har varit begränsad är det möjligt att det finns fler potentiella biologiska kontrollorganismer mot potatiscystnematoder som är godkända i Sverige än de som tagits upp i arbetet. En utveckling av metoden i litteraturstudien hade varit att vid sidan av litteratursökningen direkt titta på om en kontrollorganism var godkänd som verksamt ämne i Sverige i stället för att göra det i efterhand. Det hade medfört att arbetet endast kunnat fokuseras på organismer som är godkända som verksamma ämnen i Sverige i stället för att ta upp flera potentiella organismer som fick uteslutas i slutändan. Däremot hade fler biologiska kontrollorganismer kunnat få godkännande som verksamma ämnen i framtiden än de som är godkända i dagsläget. Om *P. chlamydosporia*, *P. lilacinum* eller *V. leptobactrum* hade blivit godkända som verksamma ämnen i Sverige hade de också varit intressanta för användning mot potatiscystnematoder eftersom de inte uppvisat några egenskaper i litteraturstudien som skulle göra de mindre lämpliga som kontrollorganismer i potatisodlingar (som exempelvis *H. rhossiliensis* och *Pasteuria* spp.). Det hade även varit intressant om ytterligare arter av *Pseudomonas* bakterier fick godkännande, som exempelvis *P. fluorescens* som i litteraturstudien uppvisade en god kontrolleffekt mot potatiscystnematoder.

### 4.3 Tillämpningar och utvecklingsmöjligheter

I dagsläget finns flertalet potentiella arter att använda som biologiska kontrollorganismer mot potatiscystnematoder. Däremot råder ofta frågeställningar om vilken formulering som ska användas vid applicering av de biologiska



preparaten, samt vilka isolat som är de mest effektiva av respektive kontrollorganism. För att komma fram till vilka formuleringar och isolat som är mest effektiva för förutsättningarna på olika platser krävs mer forskning. I vissa fall har det visat sig att en organism från ett helt annat land som isolerats från en annan art av cystnematod kan infektera potatiscystnematoder (Mohan et al. 2012). I andra fall är organismerna väldigt värdspecifika och överlever sämre i vissa typer av miljöer (Stirling 2014).

I vissa studier har forskare tittat på hur kompatibla de biologiska kontrollorganismerna är när de blandas med andra preparat (både andra kontrollorganismer och med kemiska nematicider) (Tobin et al. 2008; Nagachandrabose 2017). För svensk användning av de biologiska kontrollorganismerna är det inte relevant att ta reda på om de biologiska preparaten är kompatibla med nematicider eftersom det idag inte finns några godkända nematicider i Sverige. Däremot kan det behövas mer forskning kring hur exempelvis en svamp som tillsatts som biologisk kontrollorganism reagerar på fungicider. Detta kan speciellt vara av intresse eftersom potatis är en av de mest fungicidkrävande grödorna på grund av att den är hårt utsatt för olika svampsjukdomar, som exempelvis potatisbladmögel. Utöver detta är det också vara intressant att ta reda på hur kompatibla olika kontrollorganismer är med varandra. I vissa fall kan en enskild organism ge en för begränsad bekämpningseffekt för att anses vara effektiv, men om den kan kombineras med andra organismer i ett preparat så kan det eventuellt innebära en förbättring i bekämpningseffekten. Exempelvis såg Nagachandrabose (2017) att en kombination av *P. flourescens* och *P. lilacinum* gav en större bekämpningseffekt mot potatiscystnematoder än när de tillsattes var och en för sig.

Användandet av biologiska preparat kan i nuläget inte ersätta kemiska nematicider (på de platser där de är tillåtna) då de sällan uppnår samma kontrollnivå på potatiscystnematoderna. Därför bör målet med biologisk bekämpning vara att hålla nere nematodpopulationen, snarare än att försöka eliminera populationen helt som ofta är avsikten med kemiska nematicider (Askary & Martinelli 2015). I flera av studierna har forskare föreslagit att biologiska bekämpningsmedel kan användas som en del av ett integrerat växtskydd. Med en kombination av exempelvis resistent potatissorter, en varierad växtföljd och friskt utsäde kan man uppnå en god kontrolleffekt av potatiscystnematoder med hjälp av biologiska bekämpningspreparat. Eftersom kemiska nematicider inte är tillåtna att använda i Sverige kan biologiska preparat bli en viktig del i bekämpningsstrategin mot potatiscystnematoder i svensk potatisodling. Speciellt om flera av de resistent potatissorterna skulle få försämrade effekt till följd av resistensbrytning. Därför vore det intressant att utföra vidare forskning för att kunna nyttja de tillgängliga biologiska bekämpningsorganismerna mot potatiscystnematoder, *T. harzianum* och *B. thuringiensis*, som finns att tillgå i Sverige idag.

## 5. Slutsats

Det finns stor potential för att använda biologisk bekämpning mot potatiscystnematoder och ett urval av organismer att välja mellan. Litteraturstudien visade att det finns bakterier inom *Bacillus* spp. och *Pseudomonas* spp. som verkar antagonistiskt mot potatiscystnematoder genom antibios och att det inom *Pasteuria* spp. potentiellt finns obligata parasiter mot potatiscystnematoder. Bland svamparna återfanns endoparasiten *H. rhossiliensis* och ägg- och cystparasiterna *P. chlamydosporia*, *V. leptobactrum*, *P. lilacinum* och *Trichoderma* spp. *Bacillus thuringiensis* och *T. harzianum* är de två arter av kontrollorganismer som (i omfattningen av litteraturstudien) både har uppvisat en bekämpningseffekt mot potatiscystnematoderna och är godkända som verksamma ämnen i Sverige. De har även uppvisat tillväxtfrämjande egenskaper, vilket är positivt ur växtodlingssynpunkt. Därför är det dessa två arter som i dagsläget har mest potential att kunna användas för biologisk bekämpning mot potatiscystnematoder i Sverige. Även två arter av *Pseudomonas* finns godkända som verksamma ämnen i Sverige, men dessa arter har inte omfattats av litteraturstudien och därför kan ingen slutsats dras kring deras kontrolleffekt. Huruvida just de isolaten som är godkända i Sverige och deras formuleringar är lämpliga för bekämpning av potatiscystnematoder i svenska fältförhållanden kräver ytterligare forskning.

## Referenser

- Andersson, S. (1999). *Potatiscystnematoder (Globodera rostochiensis och G pallida) - svåra skadegörare i potatis*. Rev. Uppsala: Sveriges lantbruksuniv. (Faktablad om växtskydd. Trädgård, 39 T)
- Andersson, S. (2018). *Nematoder som växtskadegörare*. Mjölby: Atremi.
- Askary, T.H. & Martinelli, P.R.P. (2015). *Biocontrol agents of phytonematodes*. Oxfordshire, England ; CABI.
- Avelar Monteiro, T.S., Magalhães Pacheco, P.V., Gouveia, A.S., Balbino, H.M. & Grassi de Freitas, L. (2020). Chapter 33 - Pochonia. I: Amaresan, N., Senthil Kumar, M., Annapurna, K., Kumar, K., & Sankaranarayanan, A. (red.) *Beneficial Microbes in Agro-Ecology*. Academic Press. 669–682. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00033-2>
- Bilgrami, A.L. & Khan, A. (2022). *Plant nematode biopesticides*. London, England ; Academic press.
- Brotman, Y., Kapuganti, J.G. & Viterbo, A. (2010). Trichoderma. *Current Biology*, 20 (9), R390–R391. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.042>
- Contina, J.B., Dandurand, L.M. & Knudsen, G.R. (2017). Use of GFP-tagged Trichoderma harzianum as a tool to study the biological control of the potato cyst nematode Globodera pallida. *Applied Soil Ecology*, 115, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.03.010>
- Cronin, D., Moenne-Loccoz, Y., Fenton, A., Dunne, C., Dowling, D.N. & O’Gara, F. (1997). Role of 2,4-diacetylphloroglucinol in the interactions of the biocontrol pseudomonad strain F113 with the potato cyst nematode Globodera rostochiensis. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (4), 1357–1361. <https://doi.org/10.1128/aem.63.4.1357-1361.1997>
- Davies, K., Srivastava, A., Kumar, K. & Mohan, S. (2015). Understanding nematode suppressive soils: molecular interactions between Pasteuria endospores and the nematode surface coat. <http://uhra.herts.ac.uk/handle/2299/19583> [2023-05-01]
- EPPO (u.å.). *EPPO activities on plant quarantine. European and Mediterranean Plant Protection Organization*. [https://www.eppo.int/ACTIVITIES/https%3A%2F%2Fwww.eppo.int%2FACTIVITIES%2Fquarantine\\_activities](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/https%3A%2F%2Fwww.eppo.int%2FACTIVITIES%2Fquarantine_activities) [2023-03-11]
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat: odling av åker- och trädgårdsgrödor : biologi, förutsättningar och historia*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur.

- Hajji, L., Hlaoua, W., Regaieg, H. & Horrigue-Raouani, N. (2017). Biocontrol Potential of *Verticillium leptobactrum* and *Purpureocillium lilacinum* Against *Meloidogyne javanica* and *Globodera pallida* on Potato (*Solanum tuberosum*). *American Journal of Potato Research*, 94 (2), 178–183. <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9554-0>
- Jonsson, M., Viketoft, M. & Stenberg, J.A. (2022). *När är det biologisk bekämpning?* SLU.SE. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/kompetenscentrum-for-biologisk-bekampning-cbc/om-biologisk-bekampning/nar-ar-det-biologisk-bekampning/> [2023-03-09]
- Jordbruksverket (2022). *Odla utsäde*. Jordbruksverket. [text]. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/utsade-och-registrering-av-vaxtsorter/odla-utsade> [2023-02-27]
- Jordbruksverket (2023). *Karantänskadegörare*. Jordbruksverket. [text]. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtskydd/karantanskadegorare> [2023-02-22]
- Kemikalieinspektionen (u.å.). *Växtskyddsmedel*. Kemikalieinspektionen. [text]. <https://www.kemi.se/bekampningsmedel/vaxtskyddsmedel> [2023-03-10]
- Kumar, M.S., Annapurna, K., Kumar, K., Sankaranarayanan, A. & Amaresan, N. (2020). *Beneficial microbes in agro-ecology: bacteria and fungi*. London: Academic Press.
- Liu, S.F. & Chen, S.Y. (2009). Effectiveness of *Hirsutella minnesotensis* and *H. rhossiliensis* in control of the soybean cyst nematode in four soils with various pH, texture, and organic matter. *Biocontrol Science and Technology*, 19 (6), 595–612. <https://doi.org/10.1080/09583150902960979>
- Magnusson, C. (2020). Nematodes as Plant Pathogens. I: *Plant pathology and plant diseases*. Boston, MA: CAB International.
- Marks, R.J. & Brodie, B.B. (1998). *Potato cyst nematodes: biology, distribution and control*. Wallingford: CAB International.
- Mateille, T., Dabiré, K.R., Fould, S. & Diop, M.T. (2010). Host–parasite soil communities and environmental constraints: Modelling of soil functions involved in interactions between plant-parasitic nematodes and *Pasteuria penetrans*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (8), 1193–1199. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.010>
- Mhatre, P.H., Divya, K. I., Venkatasalam, E. p., Watpade, S., Bairwa, A. & Patil, J. (2022). Management of potato cyst nematodes with special focus on biological control and trap cropping strategies. *Pest Management Science*, 78 (9), 3746–3759. <https://doi.org/10.1002/ps.7022>
- Migunova, V.D. & Sasanelli, N. (2021). Bacteria as Biocontrol Tool against Phytoparasitic Nematodes. *Plants*, 10 (2), 389. <https://doi.org/10.3390/plants10020389>
- Misra, P., Archana, Uniyal, S. & Srivastava, A.K. (2022). Chapter 8 - *Pseudomonas* for sustainable agricultural ecosystem. I: Pratap Singh, R., Manchanda, G., Bhattacharjee, K., & Panosyan, H. (red.) *Microbial Syntrophy-Mediated*

*Eco-enterprising*. Academic Press. 209–223. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99900-7.00012-2>

- Mohan, S., Mauchline, T.H., Rowe, J., Hirsch, P.R. & Davies, K.G. (2012). Pasteuria endospores from *Heterodera cajani* (Nematoda: Heteroderidae) exhibit inverted attachment and altered germination in cross-infection studies with *Globodera pallida* (Nematoda: Heteroderidae). *FEMS Microbiology Ecology*, 79 (3), 675–684. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01249.x>
- Nagachandrabose, S. (2017). Combined application of *Pseudomonas fluorescens* and *Purpureocillium lilacinum* liquid formulations to manage *Globodera* spp on potato. 6
- Nagachandrabose, S. (2020). Management of Potato Cyst Nematodes Using Liquid Bioformulations of *Pseudomonas fluorescens*, *Purpureocillium lilacinum* and *Trichoderma viride*. *Potato Research*, 63 (4), 479–496. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09452-2>
- Naturvårdsverket (u.å.). *Växtskyddsmedel*. Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/kemikalier/vaxtskyddsmedel/> [2023-03-09]
- Nehra, S., Gothwal, R.K., Varshney, A.K., Solanki, P.S., Chandra, S., Meena, P., Trivedi, P.C. & Ghosh, P. (2021). Chapter 19 - Bio-management of *Fusarium* spp. associated with fruit crops. I: Sharma, V.K., Shah, M.P., Parmar, S., & Kumar, A. (red.) *Fungi Bio-Prospect in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-Technology*. Academic Press. 475–505. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821394-0.00019-6>
- Perry, R.N., Moens, M. & Jones, J.T. (2018). *Cyst nematodes*. Wallingford, Oxfordshire, UK ; CABI.
- Poveda, J., Abril-Urias, P. & Escobar, C. (2020). Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes by Filamentous Fungi Inducers of Resistance: *Trichoderma*, Mycorrhizal and Endophytic Fungi. *Frontiers in Microbiology*, 11, 992. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00992>
- Racke, J. & Sikora, R.A. (1992). Isolation, formulation and antagonistic activity of rhizobacteria toward the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (6), 521–526. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90075-9](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90075-9)
- Sayre, R.M., Starr, M.P., Dickson, D.W., Preston III, J.F., Giblin-Davis, R.M., Noel, G.R., Ebert, D. & Bird, G.W. (2015). Pasteuria. I: *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 1–28. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.gbm00555>
- Sobczak, M. & Golinowski, W. (2011). Cyst Nematodes and Syncytia. I: Jones, J., Gheysen, G., & Fenoll, C. (red.) *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions*. Dordrecht: Springer Netherlands. 61–82. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3_4)
- Stenberg, J.A., Sundh, I., Becher, P.G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P.A., Friberg, H., Gil, J.F., Jensen, D.F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S.,

- Ninkovic, V., Rehermann, G., Vetukuri, R.R. & Viketoft, M. (2021). When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, 94 (3), 665–676. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>
- Stirling, G.R. (2014). *Biological control of plant-parasitic nematodes: oil ecosystem management in sustainable agriculture*. 2nd ed. Wallingford, England ; CABI.
- Tobin, J.D., Haydock, P.P.J., Hare, M.C., Woods, S.R. & Crump, D.H. (2008). Effect of the fungus *Pochonia chlamydosporia* and fosthiazate on the multiplication rate of potato cyst nematodes (*Globodera pallida* and *G. rostochiensis*) in potato crops grown under UK field conditions. *Biological Control*, 46 (2), 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.03.014>
- Trifonova, Z., Tsvetkov, I., Bogatzevska, N. & Batchvarova, R. (2014). Efficiency of *Pseudomonas* spp. for BioControl of the Potato Cyst Nematode *Globodera rostochiensis* (Woll.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20 (3), 666–669
- Trifonova, Z.T. (2010). Studies on the efficacy of some bacteria and fungi for control of *Globodera rostochiensis*. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade*, 55 (1), 37–44
- Turner, S.J. & Subbotin, S.A. (2013). Cyst nematodes. I: *Plant nematology*. 2. uppl. CABI. 109–143. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781780641515.0109> [2023-02-23]
- Velvis, H. & Kamp, P. (1996). Suppression of potato cyst nematode root penetration by the endoparasitic nematophagous fungus *Hirsutiella rhossiliensis*. *European Journal of Plant Pathology*, 102 (2), 115–122. <https://doi.org/10.1007/BF01877097>
- Widianto, D., Pramita, A.D., Kurniasari, I., Arofathullah, N.A., Prijambada, I.D., Widada, J. & Indarti, S. (2021). *Bacillus* is one of the most potential genus as a biocontrol agent of golden cyst nematode (*Globodera rostochiensis*). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54 (19–20), 2191–2205. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1925501>
- Zhang, Y., Li, S., Li, H., Wang, R., Zhang, K.-Q. & Xu, J. (2020). Fungi–Nematode Interactions: Diversity, Ecology, and Biocontrol Prospects in Agriculture. *Journal of Fungi*, 6 (4), 206. <https://doi.org/10.3390/jof6040206>

# Tack

Jag vill rikta ett stort tack till Maria Viketoft som handlett mig genom skrivandet av det här arbetet. Tack för all din värdefulla feedback och stöttning under arbetets gång.

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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

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