



***Trichoderma* spp. i substrat och kompost**

– ett verktyg för att uppnå suppressivitet mot rotsjukdomar i hallon- och jordgubbsodling

Trichoderma spp. in substrates and compost – a tool to achieve suppressiveness against root pathogens in raspberry and strawberry cultivation

Ellinor Tryggvesson
Elin Persson



Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjör - odling
Alnarp, 2021

Trichoderma spp. i substrat och kompost – ett verktyg för att uppnå suppressivitet mot rotsjukdomar i hallon- och jordgubbsodling

Trichoderma spp. in substrates and compost – a tool to achieve suppressiveness against root pathogens in raspberry and strawberry cultivation

Ellinor Tryggvesson

Elin Persson

Handledare: Sammar Khalil, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi
Bitr. handledare: Madeleine Ugglå, SLU, Institutionen för växtförädling
Examinator: Helena Persson Hövmalm, SLU, Institutionen för växtförädling

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Trädgårdsvetenskap
Kurskod: EX0844
Program/utbildning: Trädgårdsingenjör - odling
Kursansvarig inst.: Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp
Utgivningsår: 2021
Omslagsbild: Madeleine Ugglå

Nyckelord: *Fragaria x ananassa*, *Rubus idaeus*, tunnelodling, växtskydd, rotpatogener, hållbarhet, torv, SMC, använd svampkompost, *Agaricus bisporus*, champinjon

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institutionen för biosystem och teknologi

Publicering och arkivering

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

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

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

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

Sammanfattning

I Sverige ökar efterfrågan på bär, i synnerhet för hallon och jordgubbar, vilket ställer krav på en ökad produktion och skörd. Tunnelodling kan ge en effektivare produktion framför allt på grund av förlängd säsong. Det ger också en förbättrad kontroll över odlingsförhållanden när det gäller näring och växtskydd jämfört med frilandsodling. Idag sker tunnelodlingen i substrat, vilket kan öka risken för spridning av rotsjukdomar från bland annat inköpt växtmaterial. Effektiva växtskyddsverktyg är därför angeläget för att lösa problemet.

Suppressiva substrat är ett verktyg med stor potential för tunnelodling av hallon och jordgubbar. Suppressivitet är substratets förmåga att hämma angrepp av skadliga växtpatogener. Det kan uppnås med hjälp av mikroorganismer som kan tillsättas till odlingssubstrat genom antagonistiska isolat eller organiskt material. *Trichoderma* spp. är en grupp av effektiva antagonistiska svampar som har förmågan att hämma rotpatogena svampar och utveckla en suppressiv effekt i odlingssubstrat.

Dagens substrat brukar främst vara torvberikade men på grund av torvbrytningens negativa miljöpåverkan behövs nya alternativa substrat. Spent mushroom compost (SMC), kompostavfall från svampodling, är ett alternativ som har studerats och visats kunna samverka bra med *Trichoderma* spp. för att ge ökad suppressivitet och tillväxt genom symbios med växten. Detta kan vara ett alternativt substrat som i hög utsträckning skulle kunna användas i odling. På det sättet används svinn från champinjonodling samtidigt som torvanvändningen minimeras, vilket bidrar till ökad hållbarhet i odlingsystem. Resultatet från vår litteraturgenomgång indikerar möjligheten att använda *Trichoderma* spp. som ett verktyg för att hämma spridning av rotpatogener i odlingssubstrat. Användning av SMC med eller utan symbiosförhållande med *Trichoderma* spp. är ett bra verktyg för att uppnå suppressivitet i substrat.

Nyckelord: *Fragaria x ananassa*, *Rubus idaeus*, tunnelodling, växtskydd, rotpatogener, hållbarhet, torv, SMC, använd svampkompost, *Agaricus bisporus*, champinjon

Abstract

In Sweden the consumption of berries is increasing, especially of raspberries and strawberries, which places demands on increased production and harvesting. Tunnel cultivation can provide an efficient production, mainly due to the extended season. It also provides improved control over cultivation conditions in terms of nutrition and plant protection compared to outdoor cultivation. Today, tunnel cultivation takes place in substrates, where the risk of spreading root diseases from purchased plant material can increase. Effective plant protection tools are therefore important to solve the problem.

Suppressive substrates have a great potential in tunnel cultivation of raspberries and strawberries. Suppressiveness is the ability of the substrate to inhibit spread of harmful plant pathogens. It can be achieved through microorganisms that can be added to the substrate as antagonistic isolates or through amendments of organic material. *Trichoderma* spp. is a group of effective antagonistic fungi that has the ability to inhibit root pathogens and develop a suppressive effect in the cultivation media.

Substrates of today are usually peat-enriched, but due to the negative environmental impact of peat mining, new alternative substrates are needed. Spent mushroom compost (SMC), composted waste from mushroom cultivation, is an alternative that has been studied and shown to work well with *Trichoderma* spp. to provide increased suppression and growth through symbiosis with the plant. This may be an alternative substrate that should be more incorporated in the cultivation system. In this way, waste from mushroom cultivation is used at the same time as peat use is minimized, which contributes to increased sustainability in the production system. In conclusion, our review of the literature indicated the possibility of using *Trichoderma* spp. to achieve suppressiveness in the substrate. The use of SMC with and without symbiosis with *Trichoderma* spp. is an effective tool to enhance the suppressive effect of the substrate.

Keywords: *Fragaria x ananassa*, *Rubus idaeus*, tunnel cultivation, plant protection, root pathogens, sustainability, peat moss, SMC, spent mushroom compost, *Agaricus bisporus*, white button mushroom

Innehållsförteckning

Ordlista	9
1. Introduktion	11
2. Bakgrund	12
2.1. Tunnelodling av hallon och jordgubbar	12
2.2. Utmaningar gällande rotsjukdomar i substratodling	12
2.3. Suppressiva substrat	13
2.4. Torv som odlingssubstrat - Varför behövs alternativa substrat?	14
3. Syfte och frågeställning	15
4. Material och metod	16
5. Avgränsningar	16
6. Resultat	17
6.1. <i>Trichoderma</i> spp. och deras mekanismer	17
6.2. Suppressivitet genom <i>Trichoderma</i> spp.....	18
6.3. Organiska avfall från svampodling	19
7. Diskussion	22
7.1. Hållbar odling med suppressiva substrat	23
7.2. Mikroorganismer och <i>Trichoderma</i> spp. i suppressiva substrat	23
7.3. SMC som alternativ kompost.....	24
7.4. Organiska avfallsprodukter i odlingssubstrat.....	25
8. Slutsats	27
9. Referenser	28
Tack	37

Ordlista

antagonistisk svamp	hämmande effekt på patogena svampar
antibios	interaktion mellan två växter, där den ena växten är skadlig för den andra
CEC	cation exchange capacity - katjonbyteskapacitet
cfu	colony forming units - kolonibildande enheter av bakterier
fermentering	anaerob process som innebär en ofullständig oxidation av organiska ämnen
inokulation	tillförsel av en liten mängd mikroorganismer som sedan utvecklas och reproduceras
IPM	integrated pest management - integrerat växtskydd
lignocellulosa	biomassa bestående av lignin och cellulosa
mikroorganismer	små organismer som till exempel bakterier, virus, jäst och mögelsvampar
mykoparasitism	en svamp som äter en annan svamp
NDVI	normalized difference vegetation index
rotpatogener	smittsamma mikroorganismer som orsakar sjukdom på rötter
SFF	solid state fermentation - fermenteringsprocess där substratet är i fast form
SMC	spent mushroom compost - kompost efter svampodling
SPAD	soil plant analysis development

suppressiva substrat substrat som motstår sjukdomar

Trichoderma spp. en grupp av antagonistiska svampar som motverkar rotpatogener

växtpatogener smittsamma mikroorganismer som orsakar sjukdom på växter

1. Introduktion

Efterfrågan på bär, och i synnerhet jordgubbar (*Fragaria x ananassa*) och hallon (*Rubus idaeus*), ökar i Sverige. Odlare söker därför efter strategier för att maximera sin produktion och skörd. En sådan strategi är odling i tunnel som möjliggör en förlängd odlingssäsong, ökad produktion och bättre kontroll av odlingsförhållandena. Under tunnelförhållanden används torv eller kokosfiber som odlingssubstrat (Kyllerstedt, 2021). Spridningen av rotpatogener är dock ett problem i substratodling (Svensson & Khalil, 2017). Suppressiva substrat med förmågan att hämma sjukdomsspridning och angrepp är en potentiell strategi som har tillämpats mot en del rotpatogener (Verma et al, 2007).

Suppressivitet innebär att patogena svampar och sjukdomar hämmas på ett biologiskt sätt. Substrat kan bli suppressiva genom tillsats av gynnsamma mikroorganismer eller genom utblandning med organiskt material, såsom kompost som främjar den antagonistiska potentialen hos den naturligt förekommande mikrofloran. Många mikrobiella grupper, naturligt förekommande eller tillsatta, har indikerat suppressiv förmåga mot rotsjukdomar. Ett exempel på sådana mikrobiella grupper med suppressiv förmåga är svampar tillhörande gruppen *Trichoderma* som finns i alla jordar och runt rotsystem av växter (Verma et al, 2007). Vissa arter av *Trichoderma* hämmar rotpatogena svampar i bland annat substratodling av hallon och jordgubbar. Därför har *Trichoderma* spp. potential att användas som ett verktyg vid framtagandet av suppressiva substrat (Harman, 2000).

Brytningen av torv och kokosfibrer är en utmaning ur ett miljöperspektiv (Weissert & Disney, 2013). Alternativa lösningar söks av odlare inom trädgårdsnäringen. SMC, spent mushroom compost, är ett restavfall från svampodling och ett alternativt odlingssubstrat med potential att utveckla suppressivitet och främja planttillväxt (Paula et al, 2017). Förekomst av *Trichoderma* spp. har indikerats i SMC, vilket gör SMC till ett passande redskap för att främja den suppressiva potentialen hos *Trichoderma* spp. (Higa & Wididana, 1991).

Detta arbete handlar om att ta reda på: 1) varför suppressivitet är viktigt och hur det kan uppnås, 2) genom vilka mikroorganismer det kan ske, med fokus på *Trichoderma* spp., 3) vilka mekanismer *Trichoderma* spp. använder sig av för att hämma patogener, och 4) om de kan tillsättas genom SMC och användas i odlingar av hallon och jordgubbar i Sverige.

2. Bakgrund

2.1. Tunnelodling av hallon och jordgubbar

Idag sker jordgubbsodlingen i Sverige på 2500 hektar varav endast 150 hektar är tunnelodlingar. Hallonodlingen är markant mindre, ca 200 hektar, men ökar för varje år, så gör även jordgubbsodlingen. Sverige konsumerar 45 miljoner liter bär varje år och 10 miljoner av dessa är importerade. Magnus Engsted, intervjuad av Kyllerstedt (2021), menar att Sverige hade kunnat bli självförsörjande vad gäller bärproduktion om odlarna ställt om helt till tunnelodling med torv som substrat. Detta innebär dock stora investeringskostnader men genom att välja remonterade jordgubbssorter för att få flera skördar per säsong kan den kostnaden löna sig på relativt kort tid. Tunnelodling innebär en permanent odlingsplats där plantor och substrat byts ut varje odlingsssäsong. Vid odling på friland måste odlingsplatsen flyttas vart tredje till fjärde år för att undvika utarmning av jorden samt spridning av jordburna svampar, nematoder och skadeinsekter (Kyllerstedt, 2021). Genom omställning till tunnelodling blir därför bärproduktionen effektivare och ett arbetsintensivt moment försvinner.

2.2. Utmaningar gällande rotsjukdomar i substratodling

Reglerna för kemikalieanvändning tvingar odlarna att använda alternativa metoder för växtskydd. Det kan i sin tur minska beroendet av kemisk bekämpning. Substratodling kan göra det lättare att använda andra metoder än på friland genom tillsatser i substratet (Kyllerstedt, 2021). Problem i hallon- och jordgubbsodlingar är ofta rotsjukdomar från inköpt växtmaterial.

De är vanligtvis orsakade av svampar från släktena *Phytophthora*, *Pythium*, *Fysarium* och *Verticillum*. Odling i tunnlar skapar ett särskilt gynnsamt klimat för patogener i och med den varmare miljön jämfört med friland. Växtmaterialet har därför ett speciellt behov av motståndskraft mot bland annat rotsjukdomar (Svensson & Khalil, 2017) något som regleras i Sverige idag enligt IPM (integrated pest management) eller integrerat växtskydd.

IPM går ut på att förebygga problem orsakade av sjukdomar, insekter och ogräs. Det går även ut på att minska användningen av kemisk bekämpning vilket kan ske genom att kombinera flera olika insatser. Inom ramen för IPM är biologisk bekämpning en viktig komponent för att förebygga sjukdomsangrepp samt bevara ekosystemtjänster (Jordbruksverket, 2021). Enligt Egan et al (2020) finns det utmaningar med våra nuvarande bekämpningsstrategier och IPM, vilka har visat sig kunna störa insekters pollineringsförhållande. Enligt IPM används endast kemiska bekämpningsmedel om absolut nödvändigt (Jordbruksverket, 2021). Det innebär att det i stället används biologiska bekämpningsmedel för hämning av sjukdomsalstrande patogener (Sharma et al, 2013).

Med den ökande efterfrågan på hallon och jordgubbar samt liknande grödor behövs en mer hållbar bekämpningsstrategi. Med tanke på hur användningen av de kemiska bekämpningsmedlen begränsas mer och mer måste de biologiska bekämpningsmedlen bli mer effektiva. IPPM, integrated pest and pollinator management, innebär så lite konventionella bekämpningsmedel som möjligt och är ett alternativ då det kan finnas problem i dagsläget med IPM. Bekämpningsstrategier kräver även insatser i form av tid och pengar från odlaren. Det ses som en betydligt mindre utmaning att använda strategier som stärker ekosystemets egna mekanismer i stället för tillsatser av mer kemiska medel och det kräver också mindre arbete för odlaren (Egan et al, 2020).

2.3. Suppressiva substrat

Suppressivitet är en form av biologisk kontroll och utgör förmågan att hämma patogena mikroorganismer i jord och substrat. Det innebär att växtpatogener ej kan tillväxa och orsaka skada på den odlade grödan, och det kan ske på tre sätt enligt Baker och Cook (1974): ingen etablering av patogenen, etablering av patogenen utan sjukdom på grödan eller etablering av patogenen med sjukdomssymptom på grödan men där patogenen försvagas i odling av monokultur. Oavsett vilken strategi organismen använder sig av är suppressivitet något eftertraktat och kan

uppnås antingen genom inokulering av substrat med mikrobiella isolat (Harman et al, 2007) eller tillsats av organiskt material såsom kompost vilket främjar tillväxt av goda mikroorganismer (Montanari et al, 2004).

Jordar eller substrat som innehåller stora populationer av bakteriegrupper såsom Aktinomycter och *Pseudomonas*, svampgrupper som *Trichoderma* och *Penicillium* eller andra antagonistiska mikroorganismer ses generellt som suppressiva (Higa & Wididana, 1991). Suppressivitet i en odlingsjord eller ett odlingssubstrat beror på en rad faktorer; jordförhållanden, växtslag och sort, stam av mikroorganism eller om en kombination av mikroorganismer tillsätts. Inokulering med *Trichoderma* spp. kan bland annat ske med hjälp av tillsats av kompost där *Trichoderma* spp. har förökats och bearbetat komposten, vilket kan ge ytterligare positiva effekter till substratet (Montanari et al, 2004).

2.4. Torv som odlingssubstrat - Varför behövs alternativa substrat?

Torv är en ändlig resurs som må vara mycket användbar och eftertraktad men utvinningen ur torvmossar har en negativ miljöpåverkan. Torvmossar är långtidskolsänkor och är ett av de mest effektivt kollagrande ekosystemen på land. De ger en ökad biodiversitet men lagrar också in upp till 33% av världens organiska kol (Weissert & Disney, 2013), trots att de bara tar upp 3% av världens yta (Yu et al, 2010). Därför medför brytning av torv inte bara att våra resurser minskar utan det bidrar också till ett stort CO₂-utsläpp som är närmare 25% av allt koldioxidutsläpp från land (Bonn et al, 2014). Förnyelse av torv är en process som tar flera hundra år vilket gör att torv klassas som en ändlig resurs. Därför menar bland annat Quantis (2012) att torv har störst effekt på klimatförändringar av alla de kända material som brukas som substrat.

För närvarande är torv det dominerande organiska substratet vid odling (Blok & Wever, 2008). Det finns lättillgängligt för odlare runt om i världen där det både kan användas ensamt som substrat eller tillsammans i substratblandningar. Torv består till stor del av vitmossa (*Sphagnum* spp.) och besitter goda odlingsegenskaper (Maher et al, 2008). De önskvärda egenskaper som torv har kunnat bidra med är bland annat dess låga vikt och den höga luft- och vattenhållande förmågan som gynnar utveckling av rotsystem vid odling (Blok & Wever, 2008). Det pågår dock diskussioner kring användning och förbrukning av torv, då torvmossar både är viktiga för att behålla vattenkvaliteten i många delar av världen (Rothwell et al, 2009)

och är ett betydelsefullt habitat för vilda djur och växter, vilket rubbas vid brytningen av torv (Buchholz et al, 2009).

Vid odlingsstart är många gånger substrat fria från patogener men under kulturtiden uppkommer tillväxt i substraten. Särskilt vanligt är det i återcirkulerande system (de Cal & Melgarejo, 2001; Liptay & Tu, 2003). Torv har till och med visats främja vissa jordburna patogener (Borrero et al, 2004, 2006; Yogev et al, 2006) vilket tros bero på dess låga biologiska aktivitet. Det stämmer även för andra oorganiska substrat med låg mikrobiell diversitet (Postma et al, 2000, 2008; Menzies et al, 2005). I kombination med torvmossens viktiga funktion som kolsänka pekar detta på att vi måste sluta bruka torven för odling och försöka hitta andra alternativ (Rowson et al, 2010; Koehler et al, 2011).

3. Syfte och frågeställning

Syftet med arbetet är att undersöka effekten av *Trichoderma* spp. i odlingssubstrat och kompost vad gäller sjukdomshämning och planttillväxt.

Frågeställningarna är:

- 1) Vilken roll har mikroorganismer och *Trichoderma* spp. i suppressiva substrat?
- 2) Kan organiska avfallsprodukter från svampodling användas som alternativ för torv?
- 3) Vilken roll har *Trichoderma* spp. i organiska avfallsprodukter från svampodling?

4. Material och metod

Arbetsgången var som följer: Material inhämtades i form av vetenskapliga artiklar från databaser som Web of Science, Primo och Google. Där läste vi artiklar kring ämnet för att sedan välja ut information som var viktig för att besvara frågeställningarna. Det fanns mycket skrivet om *Trichoderma*s positiva inverkan på biogas- och metanproduktion men vi valde att inrikta oss på *Trichoderma*s suppressiva effekt i substrat.

För att ta reda på den kunskap som finns om *Trichoderma* spp. fick vi vända oss främst till utländska artiklar eftersom ämnet inte är speciellt vetenskapligt studerat i Sverige.

Sökord som användes var bland annat: *Trichoderma*, waste management, spent mushroom compost (SMC), suppressive substrate, compost, fungi, growing substrate, growing medium, peat moss

5. Avgränsningar

Biogas är en produkt som bildas genom fermentering av organiskt avfall. Avfallet kan ha bearbetats av enzymer framställda av *Trichoderma* spp. för en högre avkastning. Vi har valt att inte fokusera på den aspekten fast biogas kan framhållas som en positiv biprodukt efter användning av *Trichoderma* spp. på organiskt avfall.

Trichoderma spp. är en biologisk kontroll mot rotsjukdomar orsakade av patogena svampar och ger därför inte ett komplett skydd mot alla växtpatogener. Följaktligen har vi fokuserat på rotsjukdomar som *Trichoderma* spp. har en effekt på. Vi har även valt att begränsa

sökningarna genom att fokusera på mekanismen inom släktet *Trichoderma* i stället för specifika arter. Därför har vi bara nämnt några arter av *Trichoderma* och rotpatogener som de hämmar.

6. Resultat

6.1. *Trichoderma* spp. och deras mekanismer

Trichoderma spp. är en grupp av svampar som förekommer allmänt i jord, bark, trä och i rhizosfären av växter (Verma, 2007). De är kända för sina antibiotiska substanser och deras förmåga att konkurrera med andra mikroorganismer om näring i jorden (Kubicek & Harman, 1998b). De har förmågan att bilda ett mutualistiskt förhållande med växten där båda organismer drar nytta av att leva tillsammans. Det sker genom att *Trichoderma* spp. effektiviserar utveckling hos växten samtidigt som den själv tillväxer.

I jorden koloniserar rhizosfärkompetenta arter av *Trichoderma* ytan av växtens rötter samt det yttre skiktet av cortex. Där utsöndrar svampen bioaktiva metaboliter (Kubicek & Harman, 1998a). Det är produktionen av metaboliterna som gör *Trichoderma* spp. till en antagonistisk svamp med sjukdomshämmande och tillväxtfrämjande egenskaper för växten (Sivasithamparam & Ghisalberti, 1998). Metaboliterna är bland annat växthormoner och extracellulära enzymer som bryter ner cellulosa och kitin som de patogena svamparnas cellväggar består av (Kubicek & Harman, 1998a; Kubicek & Harman, 1998b). Att *Trichoderma* spp. kan agera som parasit på andra svampar benämns som mykoparasitism och är en viktig egenskap för att uppnå suppressivitet i jordar (Kubicek & Harman, 1998a).

Trichoderma spp. bryter även ner växtens cellväggar vilket medför att växten försvarar sig för att stå emot angrepp. De biokemiska faktorerna som utgör växtens försvar gör att *Trichoderma* spp. inte kan växa och ta över så pass mycket att den blir skadlig för växten. I stället gynnas tillväxten av rötterna som blir fler och kraftigare och får bättre motståndskraft mot sjukdomar. På det sättet agerar *Trichoderma* spp. som ett ytterligare försvar

mot patogena angrepp förutom den direkta effekten på rotpatogener i jorden (Kubicek & Harman, 1998a).

Eftersom *Trichoderma* spp. förekommer naturligt i jorden över hela världen kan man hämta in isolat med olika egenskaper från olika platser (Kumar et al, 2012). Ett isolat är en organism som isolerats från sin naturliga miljö. För att identifiera isolat jämfördes förr endast morfologiska egenskaper medan man idag utför sekvensanalyser av DNA. Isolat av *T. harzianum*, *T. atrovide* och *T. asperellum* är de mest använda för biokontroll eftersom de visats ha mest passande egenskaper, där andra arter och isolat av *Trichoderma* är mindre lämpade för sjukdomshämmning (Harman, 2000). Att hitta isolat med ännu bättre antagonistisk effekt är därför angeläget (Cruz et al, 1995). Beroende på vilken effekt man är ute efter kan man därav välja isolat efter preferens (Kumar et al, 2012). Ett exempel är isolaten TGD1 från *T. viride* och TWN1 från *T. harzianum* som visade sig ha en statistiskt signifikant inhiberande effekt på den patogena svampen *Sclerotium rolfsii*, 76,3% jämfört med kontrollen. Andra isolat hade en lägre inhibering på mellan 70,8 och 73,3% (Kumar et al, 2012).

Stammen T-22 från *T. harzianum* har visats ge ökad rottillväxt som i sin tur ger upphov till större stresstolerans mot torka. Det beror på att växten bildar längre djuprötter som tar upp vatten längre ner i marken. Majs med rötter koloniserade av T-22 har gett maximal skörd med 38% lägre kvävegödsling, vilket visar att T-22 effektiviserar användningen av kväve hos växten (Heckman et al, 1996). *Trichoderma* spp. tros också ge viss indirekt tolerans mot *Phytophthora* spp.. Även om den inte har en direkt mekanism för att interagera med *Phytophthora* så har odlare noterat att *Phytophthora*-attackerade plantor koloniserade av *Trichoderma*-stam T-22 var större till storleken än de som inte var koloniserade. En förklaring kan vara att det större rotsystemet bättre står emot de negativa effekterna från *Phytophthora* spp. så att den övriga tillväxten inte påverkas lika mycket (Harman, 2000).

6.2. Suppressivitet genom *Trichoderma* spp.

En positiv egenskap hos *Trichoderma* spp. är att vissa arter är resistent mot pesticider. Det innebär att *Trichoderma* spp. kan användas samtidigt med andra, även kemiska, bekämpningsmedel utan att förlora sin verkan, vilket andra biologiska bekämpningsmedel ofta kan göra (Harman, 2021). *Trichoderma* spp. är också intressanta på grund av deras förmåga att hjälpa växter att bekämpa patogener samtidigt som de gynnar tillväxten. Dock kan

förändringar i odlingsmiljön, det vill säga om det blir för torrt eller för blött, motverka det goda resultat som *Trichoderma* spp. vanligtvis ger. En utmaning för risodlare i Asien har varit varierande odlingsmiljöer som påverkat framgången för *Trichoderma* spp. (Gnanamanickam, 2009).

Ett experiment har visat att isolatet TAIK-1 från *T. asperellum* kan hämma de två patogenerna *Rhizoctonia solani* och *Sitophilus oryzae* genom utsöndring av växthormoner. TAIK-1 har en bra överlevnadsstrategi med klamydosporer när den blir stressad, där konidproduktionen ökar vid olika typer av extern påverkan som ljus, skada eller kvävekällor (Chinnaswami et al, 2021).

T. harzianum har visats vara suppressiv mot *R. solani* genom mekanismen hyperparasitism som leder till lysering, det vill säga dess celler dör genom upplösning av membranen (Chet & Baker, 1980). För att suppressivitet ska finnas kontinuerligt i odlingssubstratet bör både komposten vara mogen och antagonister finnas, annars gör inockuleringen ingen skillnad (Nelson et al, 1983). *T. harzianum* hittas ofta i suppressiva komposter (Kuter et al, 1983) men om komposten inte är tillräckligt mogen blir *R. solani* så pass konkurrenskraftig att *T. harzianum* inte kan tillväxa. Enzymerna som *T. harzianum* avger hämmas i omogen kompost, som till stor del består av glukos. I mer mogen kompost där glukoshalterna sjunker ger *T. harzianum* effekt och kan parasitera *R. solani* så att ingen sjukdom uppstår hos växterna (Hoitink et al, 2001).

6.3. Organiska avfall från svampodling

Champinjonen, *Agarius bisporus*, är västvärldens mest odlade svamp fastän den endast är den fjärde mest kultiverade svampen i världen (Royse et al, 2017). Odlingen av matsvampar i Sverige domineras av champinjoner, med en produktion på 2000 ton per år (Tullander, A. pers. kom¹). Den sker av ungefär 20 odlare (Svenska Svampodlarföreningen, 2017a). Svenska Svampodlarföreningen (2017b) ser att konsumtionen av matsvamp ökar i Sverige, vilket det även gör i många andra delar av världen (Haimid et al, 2013). Dagens omfattande svampproduktion genererar därför stora mängder SMC (Finney et al, 2009). Komposten som används i svensk matsvampodling tillverkas i stora anläggningar i Europa för att importeras

¹ Anders Tullander, Svenska Svampodlarföreningen, mejl, 2021-03-10

till Sverige. Framställningen sker genom fermentering som naturligt avdödar bakterier och mikroorganismer som kan konkurrera ut matsvampen under odlingen (Svenska svampodlarföreningen, 2017a).

SMC från odling av matsvamp kan användas för att till viss del ersätta syntetisk gödsling (Uzun, 2004) som dagens moderna jordbruk är beroende av (Woods et al, 2010). Produktionen av syntetiska gödselmedel har väldigt stor inverkan på miljön, halva det totala energibehovet i ett kommersiellt jordbruk står syntetiskt kvävegödsel för. SMC som ersättning för syntetiska gödselmedel ger fler effekter än bara näring. I SMC frigörs näringen mer långsamt vilket möjliggör ett effektivare upptag för växterna (Uzun, 2004). Jorden förbättras genom en bättre struktur från organisk massa, ökad vattenkapacitet, mikrobiell aktivitet, höjd jordtemperatur och minskad jordkompaktering (Courtney & Mullen, 2008). I en odling av råg applicerades hundra ton SMC per hektar, vilket gav en ökad avkastning på 50%, som är i klass med den avkastning som gavs vid användning av syntetiska gödselmedel. Skillnaden var att applicering av SMC ledde till att näringsvärdena i jorden efter skörd ökade 2,3 gånger för fosfor, 40% för kol och 28% för kväve. Kalcium-, kalium- och magnesiumhalterna var även tre gånger högre. Mäder med flera (2002) hävdar att om vi endast använder oss av syntetiska gödselmedel kan det uppstå en ond cirkel, där jordens vatten- och näringshållande förmåga minskar, vilket i sin tur kräver en betydligt högre mängd gödningsmedel efterhand (Mäder et al, 2002).

Att använda rätt dosering av SMC är viktigt (Polat et al, 2009) på grund av det höga innehållet av aska som kan vara upp till så mycket som 50% av torrmassan (Uzun, 2004). Därför kan för stor mängd SMC ge för hög salthalt för växter, något som ger negativa bieffekter i odlingar. Framför allt kan magnesiumbrist uppstå genom en antagonistisk effekt av kalium, vars halt är hög i SMC från champinjoner. Den höga salthalten kan även orsaka problem vid hortikulturellt bruk om komposten inte förbehandlats innan användning. Det kan göras genom saltlakning eller lagring. Den rekommenderade tiden för lagring är 2–3 år (Sagar et al, 2009) men i praktiken används komposten efter allt från 0 till 3 år (Ahlawat et al, 2011). SMC kan ge goda resultat om den brukas på ett rekommenderat sätt. I en studie av gurkodling gav gödsling med 40 ton SMC/ha ett bättre slutresultat än vad gödsling med 80 ton/ha gjorde (Polat et al, 2009). SMC är billigare att använda än torv (Wilson et al, 2004), det ger ett visst näringstillskott (McGinnis et al, 2010; Lopez-Mondejar et al, 2010) och det kan även ge suppressivitet mot jordburna sjukdomar (Raviv, 2011). SMC, som många andra organiska substrat, har också en hög katjonbyteskapacitet (CEC) (Inbar et al, 1989). Det innebär att substratet kan hålla en stor mängd joner

i form av näringsämnen som då blir lättillgängliga för växten. Det leder till ett effektivt upptag av näringen i substratet.

SMC har ett högt innehåll av cellulosa och hemicellulosa på 57% som är förbrukningsmaterial för *Trichoderma* spp.. I SMC förekommer enzymer naturligt då de produceras av fruktbildande svampar och de kan extraheras och användas till biobränsle och biogas (Phan & Sabaratnam, 2012; Wan & Li, 2012). Att odla svamp på avfall rika på lignocellulosa är både miljövänligt och energieffektivt men medför stora kostnader när produkten används till biogas eller biobränsle.

Ett kilogram odlad svamp medför upp till fem kilogram SMC, beroende på vattenhalt (Finney et al, 2009). Sveriges årliga produktion av champinjoner på 2000 ton per år (Tullander, A. pers. kom²) genererar därför upp till 10 000 ton SMC varje år som idag används som jordförbättring på friland. Europa står för upp till 6 miljoner ton SMC årligen från en produktion av 1,2 miljoner ton champinjoner (Cordis, 2016).

Med tanke på att konsumtionen av ätbara svampar har ökat från 1 till 4,7 kg per person från 1997 till 2013 (Royse et al, 2017) blir ökningen av SMC ungefär fem gånger så hög på bara 16 år (Finney et al, 2009). I Kina producerades 87% av de 35 miljarder kilogram odlade svamparna i världen (Royse et al, 2017). Även i Malaysia förväntas odlingen öka till 340 hektar 2020 i jämförelse med 78 hektar 2010 (Hamid et al, 2013). Det som potentiellt hjälper till att öka befolkningens intresse för svamp är dess goda medicinska egenskaper och höga näringsvärden (Mattila et al, 2001). Substratets innehåll av polysackariderna från växter och mycelet i detta fall från *A. bisporus* gör att SMC går att använda i andra förlopp efter skörd (Vos et al, 2017a).

Enligt Phan och Sabaratnam (2012) ligger medeltalet för svampproduktion i Malaysia på 100 ton, vilket ger 438 ton SMC som främst går till deponier och förbränning. Även kompostering till gödsel sker (Phan & Sabaratnam, 2012). Detta bidrar till stora miljöproblem för de länder som är stora producenter av svamp. Problemet ter sig inte bara ekonomiskt utan det stora överskottet av kväve och fosfor ger en kraftig urlakning. Det leder i sin tur till övergödning och läckage som i lokala vattenströmmar orsakar massiva algbloomingar (Finney et al, 2009). Då SMC är en resurs som inte används fullt ut eftersom den kasseras efter svampodling menar Phan och

² Anders Tullander, Svenska Svampodlarföreningen, mejl, 2021-03-10

Sabaratham (2012) att det kan finnas en potentiell metod att bruka SMC på ett bättre sätt.

I en undersökning användes obehandlad SMC efter skörd av champinjoner (*A. bisporus*) som ett substrat för odling av *Trichoderma* spp. Målet var att producera enzymer genom SFF (solid state fermentation) som uppstår genom *Trichoderma*. Som referens användes *Aspergillus niger* (svartmögel). Resultaten visade att alla använda isolat från *Trichoderma* var bättre enzymproducenter än *A. niger* där isolat T42 från *T. atroviride* visade störst potential. Mängden SMC reducerades 30% för samtliga *Trichoderma*-isolat, vilket visar på en potentiell användning för avfallet och en lösning på problemet med en ökande mängd SMC. Det resulterande SMC är också bättre hortikulturellt lämpat och kan användas i odlingar (Grujić et al, 2015).

En indisk studie med syfte att undersöka *T. harzianum*s roll i SMC visade en ökad kvalitet och avkastning för frukten *Kinnow mandarin* efter användningen av SMC. I försöket förbereddes först SMC med inockulation av *T. harzianum* till 10 000 cfu (colony forming units) per gram substrat. Efter fyra veckor nåddes 8 720 000 cfu per gram substrat, vilket visar på att SMC är en miljö som *T. harzianum* har hög tillväxt i. Substratet placerades sedan i rotzonen hos den studerade grödan. I jämförelse med obehandlade plantor gav de behandlade plantorna med inockulerad SMC bland annat en ökad bladarea på 24,4 cm² jämfört med 14,23 cm² hos kontrollen. Även SPAD och NDVI värden som används för att mäta mängden vegetation och dess klorofyllinnehåll var högre på behandlade plantor. Dess ökade tillväxt kan förklara den ökade fruktavkastningen i både vikt, storlek och antal genom ökad fotosyntes. De behandlade plantorna släppte även färre frukter under den period då plantan annars är känslig för fruktsläpp (Bhanu et al, 2014).

7. Diskussion

Artiklarna vi funnit har för det mesta varit utländska och handlat om olika grödor och även frilandsodling. Baserat på dessa artiklar drar vi slutsatser om vad som hade kunnat göras i svensk substratodling av hallon och jordgubbar eftersom det inte finns någon uttömmande forskning inom detta

område i Sverige. Trots att de artiklar vi läst beskriver studier i andra typer av klimat kan vi dra slutsatser gällande svensk odling, eftersom det går att använda sig av tunnelodling eller odling i växthus i vårt klimat. Enligt litteraturen vi granskat finns det möjligheter att använda *Trichoderma* spp. i kombination med SMC för att uppnå suppressivitet.

7.1. Hållbar odling med suppressiva substrat

Vi anser att våra resultat från denna litteraturundersökning möter de globala målen för hållbarhet och har hög relevans för minst tre av dessa 17 mål som FN:s utvecklingsprogram (UNDP) tagit fram (UNDP, 2021). Dessa mål är hållbar konsumtion och produktion, bekämpning av klimatförändringarna samt hållbart nyttjande av ekosystem och biologisk mångfald.

Genom att utveckla suppressiva substrat tror vi att beroendet av kemiska bekämpningsmedel kan komma att minska med tiden och förhoppningsvis försvinna. Det kan leda till en större biologisk mångfald och mindre påverkade ekosystem (Egan et al, 2020). Vi tror även att kemikalier som lämnas kvar på grödor vid konventionell bekämpning kommer att minska och eventuella skadliga hälsoeffekter kan utebli på människor och djur.

Suppressivitet är väldigt positivt i tunnelodlingar där patogena svampar är ett stort problem och orsakar minskade avkastningar (Svensson & Khalil, 2017). SMC möjliggör suppressivitet i tunnelodlingar för hallon och jordgubbar genom en mikrobiell aktivitet (Mäder et al, 2002). SMC har hög mikrobiell aktivitet i jämförelse med torv, något som vi anser kan hjälpa till att hämma patogener tillsammans med *Trichoderma* spp.. Kemiska bekämpningsmedel behöver ofta appliceras flera gånger under kulturtiden. Suppressivitet är något som kan uppnås genom endast en applicering vid start för kulturen. Genom detta menar vi att man kan spara både kostnad för medel och arbetstid. Mindre användning av kemiska bekämpningsmedel gör att vi är ett steg närmre att vara oberoende av kemiska bekämpningsmedel.

7.2. Mikroorganismer och *Trichoderma* spp. i suppressiva substrat

Trichoderma spp. är en av många mikroorganismer som kan skapa suppressivitet i jordar och substrat. I litteraturen vi har undersökt har

Trichoderma spp. visat sig ha effekt mot rotpatogener som *S. rolfsii*, *R. solani* och *S. oryzae*. *Trichoderma* spp. kan skapa suppression samtidigt som den bearbetar kompost till en mer anpassad produkt för hortikulturell användning (Harman et al, 2004). Genom användning i substrat stärker *Trichoderma* spp. växten och kan bidra till en bättre avkastning. Vid olika typer av stress hjälper *Trichoderma* spp. till att minska förluster i avkastning genom till exempel en ökning i tillväxt av djuprötter som motverkar torra samt ger ett effektivare upptag av näring. *Trichoderma* spp. är därmed ett kraftfullare verktyg än många andra mikroorganismer som bara ger en effekt (Sivasithamparam & Ghisalberti, 1998). Om redan optimala förhållanden råder för växten så har *Trichoderma* spp. ingen påvisad effekt på avkastning (Heckman et al, 1996). Däremot tror vi med tanke på klimatförändringarna där extrema klimat inte är en ovanlighet att *Trichoderma* spp. kan vara en mycket viktig pusselbit för framtidens matförsörjning.

Kompost som jordförbättrare till organiska substrat tillför framför allt ökad mikrobiell aktivitet (Vestberg et al, 2004). Eftersom komposten till champinjonodling fått en naturlig avdödning av bakterier och organismer efter fermenteringen (Svenska svampodlarföreningen, 2017a) så kan *Trichoderma* spp. åter tillsättas. Då koloniserar komposten och suppressiviteten som vi vill åt uppstår. Frågan är hur mycket *Trichoderma* spp. som finns kvar efter framställningen av kompost till champinjonodling och hur mycket som måste tillsättas till SMC för att tillräcklig suppressivitet ska uppstå eller om den finns där naturligt. Det hade varit ett bra experiment att utföra då vi inte hittat information om detta.

7.3. SMC som alternativ kompost

Användningen av syntetiska gödselmedel har stor inverkan på miljön (Woods et al, 2010) och är något vi vill komma ifrån. Möjligheten att ersätta syntetiska gödselmedel med SMC skulle till viss del kunna hjälpa till att bryta den onda cirkeln som skapas genom dess användning. Användningen kan ge påföljder som kommer kräva ännu större behov av syntetiska gödselmedel för att uppnå samma mängd avkastning (Mäder et al, 2002). Detta medför även andra påföljder, som minskade vatten- och näringshållande förmågor. Det gör att problemen kan bli svåra att lösa och minimera. Med SMC bibehålls den mikrobiella aktiviteten, som till viss del kan hjälpa till att bryta den onda cirkeln. Vos med flera (2017b) tar upp att SMC finns i så pass stora mängder så det bör få en bättre hantering än vad som sker nu. Om det inte tas om hand menar vi att utvecklingen i stället

kommer att gå emot FN:s hållbarhetsmål med en ökande mängd SMC som skapar miljöproblem från urlakning.

SMC har även en vatten- och näringshållande förmåga i jorden (Mäder et al, 2002). Ökningen av gödselmedel som hade varit nödvändig kommer i stället att minimeras när *Trichoderma* spp. är närvarande. Det kan påvisas genom att *Trichoderma* spp. tillsatt i SMC ger tillväxtökning av växten (Paula et al, 2017).

Förbränning av SMC efter svampodling kan producera energi till värme och elförbrukning (Finney et al, 2009) men problemet kvarstår att det är sämre för miljön och oekonomiskt. Orsaken är att den höga halten aska i SMC leder till mindre effektivitet och nya avfallsproblem (Zhu et al, 2013). Det problemet hade kunnat lösas med hantering av kvarvarande SMC genom att nyttja det till nyproduktion av substrat för hortikulturellt bruk med inslag av *Trichoderma* spp.. I många delar av världen tror vi det kan finnas resurser för att börja hantera avfall av SMC för att ta hand om restprodukterna till något bättre.

7.4. Organiska avfallsprodukter i odlingssubstrat

Torv är en ändlig resurs som ofta används inom odling men ett alternativt substrat kan behövas för att minimera förbrukningen och ge ett mer hållbart samhälle. Då odling spelar stor roll i samspelet och produktion av mat bör andra odlingsmaterial studeras.

Organiska substrat som exempelvis torv har ofta en hög katjonbyteskapacitet (CEC) som leder till en mer effektiv förbrukning av näringen i substraten (Inbar et al, 1989). Torv används idag i stor omfattning i substratodling på grund av dess goda odlingsegenskaper (Blok & Wever, 2008). Vad som saknas är suppressivitet mot patogener som kan uppnås genom hög mikrobiell aktivitet, något som torv inte besitter (Postma et al, 2000, 2008; Menzies et al, 2005). SMC måste blandas ut med annat material för att kunna användas hortikulturellt på grund av dess höga salthalt (Sagar et al, 2009). Där är torv ett bra material att blanda ut med. Vi tycker att blandningen mellan SMC och torv bör undersökas mer för att se om detta substrat kan ge goda odlingsegenskaper. På grund av torvens negativa miljöpåverkan vid brytning hade vi dock önskat att den försvann helt. Fram tills dess att ett bättre alternativ blir aktuellt är det bättre att minska konsumtionen av torv med hjälp av kompostutblandning med

exempelvis SMC. Med det hoppas vi att höja substratets egenskaper ytterligare med bland annat suppressivitet.

SMC är en avfallsprodukt som endast kommer hanteras som skräp och skapa miljöproblem om den inte används till något (Phan & Sabaratnam, 2012). Organiska substrat baserade på SMC kan framställas relativt billigt eftersom det är en restprodukt och har låg efterfrågan till skillnad från torv som är en ny produkt som måste produceras från råvara genom brytning ur torvmossar (Phan & Sabaratnam, 2012). SMC är något som kommer att finnas oavsett, även om det kan kräva förbehandling inför ett hortikulturellt bruk. Ur ett miljösammanhang är det betydligt bättre att bruka SMC i jämförelse med torv. Men är det värt att genomföra processen med förbehandling och fermentering för att använda det som ett odlingssubstrat? Det må vara en påkostad process som kräver förhantering för att förändring ska kunna ske. För de länder som kan behöva en arbetsplan för deras svinnhantering av SMC kommer förmodligen genomförandet vara för kostsamt. Inte ens miljön eller klimatet kommer vara anledning nog att lägga resurser på det området. Därför kan det bli svårt att få kompostering av SMC med innehåll av *Trichoderma* spp. att fungera i de länder där svampproduktionen är som störst. För ett land som Sverige finns det goda möjligheter och resurser att ta hand om avfall samt gynna odlare.

Efter närmare undersökning av den information som finns om SMC, *Trichoderma* spp. och suppressivitet bör fördelarna med SMC ur hortikulturell synvinkel väga upp dess nackdelar. Storskalig användning på exempelvis friland kan ses som begränsande på grund av de stora volymer SMC som krävs. Något som vi tror skulle kunna vara negativt är dess förbehandling som kan kräva resurser såsom tid och utrymme. Därför kan substrat av SMC bli svårt att använda på friland på samma sätt som i tunnelodling som kräver mycket mindre volymer och utrymme. På grund av detta tycker vi det vore en god start att utnyttja komposten från champinjonodlare i Sverige. Det kan till exempel ske i en tunnelodling med hallon och jordgubbar för att ge bättre avkastning, minimera angrepp och ge ytterligare positiva effekter som suppressivitet. Torv och SMC kan komma att komplettera varandra med torvens låga mikrobiella aktivitet, dess låga näringsinnehåll och goda odlingsegenskaper mot SMC:s höga mikrobiella aktivitet och näringsinnehåll (McGinnis et al, 2010; Lopez-Mondejar et al, 2010). Vår uppfattning blir därför att de tillsammans borde skapa ett ypperligt odlingssubstrat som gynnar suppressivitet. De faktorer som skulle kunna motsäga detta är att vi kommer behöva förbehandla materialet inför hortikulturella bruk vilket blir en extra arbetsinsats och

kostnad, då salthalt i kompost är högre och ofta för hög för att gynna god tillväxt hos växter.

8. Slutsats

Enligt litteraturen vi undersökt anser vi att det finns en användning för *Trichoderma* spp. i odlingssubstrat för sjukdomshämning och planttillväxt genom tillsats till SMC. *Trichoderma* spp. har visats ge suppressiv effekt och används redan idag för just det som svar på våra frågeställningar. Att praktiskt genomföra en ändring i system runt om i världen kan vara där problemet ligger med att uppfylla våra frågeställningar.

I suppressiva substrat är det förekomsten av mikroorganismer och *Trichoderma* spp. som skapar sjukdomshämning. För *Trichoderma* spp. sker det genom utsöndring av enzymer som bryter ner patogena svampars cellväggar och hindrar dess tillväxt. På så sätt kan den hämma flera olika rotpatogener samtidigt där vissa andra mikroorganismer endast är verksamma mot specifika patogener. *Trichoderma* spp. ger samtidigt en ökad tillväxt och avkastning och är därför ett kraftfullare verktyg än många andra mikroorganismer.

Organiska avfallsprodukter från svampodling kan användas som alternativ för torv under rätt förutsättningar och för rätt gröda. SMC behöver en förbehandling eller lagring innan det kan användas i odling på grund av dess höga salthalt. En substratblandning av torv och SMC minskar brytning av torv och dess miljöpåverkan samtidigt som SMC blir lämpligt för hortikulturell användning och återanvänds. SMC fungerar som jordförbättrare och en tillsats av *Trichoderma* spp. till odlingssubstratet ger suppressivitet.

9. Referenser

Ahlawat, O. P. (2011) *Recycling of spent mushroom compost. I: Mushrooms: Cultivation, Marketing and Consumption* (Manjit Singh, Bhuvnesh Vijay, Shwet Kamal and GC Wakchaure (red.) Directorate of Mushroom Research, Solan, India ss.189-196 https://www.researchgate.net/publication/343501391_Recycling_of_Spent_Mushroom_Substrate [2021-05-24]

Ahlawat, O. P., Manikandan, K., Sagar, M. P., Raj, D., Gupta, P. & Vijay, B. (2011) *Effect of composted button mushroom spent substrate on yield, quality and disease incidence of Pea (Pisum sativum)* *Mushroom Research* 20:2 87-94 https://www.researchgate.net/publication/236646596_Effect_of_composted_button_mushroom_spent_substrate_on_yield_quality_and_disease_incidence_of_Pea_Pisum_sativum [2021-05-18]

Baker, K. & Cook, R. (1974) *Biological control of plant pathogens* San Francisco: W. H. Freeman <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19741622425> [2021-05-24]

Bhanu, C., Singh, J. P. & Gangwar, B. (2014) *Use of Trichoderma enriched button mushroom spent substrate (Tebmss) for enhancing yield and quality of Kinnow Mandarin*. Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMP8) <http://www.wsmbmp.org/1/53.pdf> [2021-05-06]

Blok, C. & Wever, G. (2008) *Experience with selected physical methods to characterize the suitability of growing media for plant growth* *Acta Horticulturae* 779 239-249 [10.17660/ActaHortic.2008.779.29](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.29)

Bonn, A., Reed, M.S., Evans, C.D., Joosten, H., Bain, C., Farmer, J., Emmer, I., Couwenberg, J., Moxey, A. & Artz, R. (2014) *Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration* *Ecosystem Services* 9 54–65 <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.011>

Borrero, C., Ordovás, J., Trillas, M. I. & Avilés, M. (2006) *Tomato Fusarium wilt suppressiveness. The relationship between the organic plant growth media and their microbial communities as characterised by Biolog® Soil Biology and Biochemistry* 38:7 1631-1637 <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.017>

Borrero, C., Trillas, M. I., Ordovás, J., Tello, J. C. & Avilés, M. (2004) *Predictive factors for the suppression of Fusarium wilt of tomato in plant growth media* *Phytopathology* 94:10 1094-1101 <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.10.1094>

Buchholz, S., Hannig, K. & Schirmel, J. (2009) *Ground beetle assemblages of peat bog remnants in Northwest Germany (Coleoptera: Carabidae)* *Entomologia Generalis* 32:2 127-144 [https://slu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/openurl?institution=46SLUB_INST&vid=46SLUB_INST:SLUB_V1&date=2009&volume=32&aualast=Buchholz&issn=0171-8177&issue=2&epage=144&spage=127&title=Entomologia%20Generalis&aunit=S.&atitle=Ground%20beetle%20assemblages%20of%20peat%20bog%20remnants%20in%20Northwest%20Germany%20\(Coleoptera:%20Carabidae\).&sid=cabi:cabdirect](https://slu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/openurl?institution=46SLUB_INST&vid=46SLUB_INST:SLUB_V1&date=2009&volume=32&aualast=Buchholz&issn=0171-8177&issue=2&epage=144&spage=127&title=Entomologia%20Generalis&aunit=S.&atitle=Ground%20beetle%20assemblages%20of%20peat%20bog%20remnants%20in%20Northwest%20Germany%20(Coleoptera:%20Carabidae).&sid=cabi:cabdirect) [2021-05-24]

Chet, I. & Baker, R. (1980) *Induction of suppressiveness to Rhizoctonia solani in soil* *Phytopathology* 70 994-998 <https://doi.org/10.1094/Phyto-70-994>

Chinnaswami, K., Mishra, D., Miriyala, A., Vellaichamy, P., Kurubar, B., Gompa, J., Madamsetty, S. P. & Raman, M. S. (2021) *Native isolates of Trichoderma as biosuppressants against sheath blight and stem rot pathogens of rice* *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31:12 <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00356-4>

Cordis (2016) *Final Report Summary - BIOMUSH (Early detection and biocontrol of mushroom pests and diseases in an Integrated Pest Management approach to comply with the European Directive 2009/128/EU)* <https://cordis.europa.eu/project/id/314241/reporting> [2021-05-19]

Courtney, R. G. & Mullen, G. J. (2008) *Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types* *Bioresource Technology* 99:8 2913–2918 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.034>

Cruz, L., Pinter-Toro, JA., Benitez, T. & Llobell, A. (1995) *Purification and characterization of an endo- β -1,3-glucanase from Trichoderma harzianum that is related to its mycoparasitism* Journal of Bacteriology 177:7 1864-1871 <https://doi.org/10.1128/jb.177.7.1864-1871.1995>

de Cal, A. & Melgarejo, P. (2001) *Repeated applications of Penicillium oxalicum prolongs biocontrol of fusarium wilt of tomato plants* European Journal of Plant Pathology 107 805-811 <https://doi.org/10.1023/A:1012432404886>

Egan, P., Dicks, L., Hokkanen, H. & Stenberg, J. (2020) *Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM)* Trends in Plant Science 25:6 577-589 <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006>

Finney, K. N., Ryu, C., Sharifi, V. N. & Swithenbank, J. (2009) *The reuse of spent mushroom compost and coal tailings for energy recovery: comparison of thermal treatment technologies* Bioresource Technology 100:1 310-315 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.054>

Gnanamanickam, S. S. (2009) *Biological control of rice diseases*, vol 8 Springer Science & Business Media, Berlin 899 <https://doi.org/10.1007/978-90-481-2465-7>

Grujić, M., Dojnov, B., Potočnik, I., Duduk, B. & Vujčić, Z. (2015) *Spent mushroom compost as substrate for the production of industrially important hydrolytic enzymes by fungi Trichoderma spp. and Aspergillus niger in solid state fermentation* International Biodeterioration & Biodegradation 104 290-298 <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.029>

Haimid, M. T., Rahim, H. & Dardak, R. A. (2013) *Understanding the mushroom industry and its marketing strategies for fresh produce in Malaysia* Economic and Technology Management Review 8 27–37 [http://etmr.mardi.gov.my/Content/ETMR%20Vol.8%20\(2013\)/3.%20Tarmizi.pdf](http://etmr.mardi.gov.my/Content/ETMR%20Vol.8%20(2013)/3.%20Tarmizi.pdf) [2021-05-24]

Harman, G. E. (2000) *Myths and dogmas of biocontrol; changes in perceptions derived from research on Trichoderma harzianum T-22* Plant Disease 84:4 377–393 <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.377>

Harman, G. E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. (2004) *Trichoderma species — opportunistic, avirulent plant symbionts* Nature Reviews Microbiology 2 43-56 <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>

Harman, G. E., Petzoldt, R., Comis, A. & Chen, J. (2007) *Interactions Between Trichoderma harzianum Strain T22 and Maize Inbred Line Mo17 and Effects of These Interactions on Diseases Caused by Pythium ultimum and Colletotrichum graminicola* Phytopathology 94:2 147-153
<https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.2.147>

Harman, G. E. (2021) *Trichoderma spp., including T. harzianum, T. viride, T. koningii, T. hamatum and other spp. Deuteromycetes, Moniliales (asexual classification system)*
<https://biocontrol.entomology.cornell.edu/pathogens/trichoderma.php>
[2021-05-07]

Heckman, J. R., Govindasamy, R., Probst, D. J., Chamberlain, E. A., & Hlubik, W. T. (1996) *Corn response to sidedress nitrogen in relation to soil nitrate analysis* Communications in Soil Science Plant Analysis 27:3-4 575-583
<https://doi.org/10.1080/00103629609369578>

Higa, T. & Wididana, G. N. (1991) *The Concept and Theories of Effective Microorganisms* Okinawa, Japan: University of the Ryukyus
<https://www.infric.or.jp/knf/PDF%20KNF%20Conf%20Data/C1-5-015.pdf>
[2021-05-24]

Hoitink, H. A. J., Krause, M. S. & Han, D. Y. (2001) *Spectrum and mechanisms of plant disease control with composts I*: P. J. Stoffella & B. A. Kahn (red.) Compost utilization in horticultural cropping systems. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press LLC 263-273

Inbar, Y., Chen, Y. & Hadar, Y. (1989) *Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter* Soil Science Society of American Journal 53:6 1695-1701
<https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300060014x>

Jordbruksverket (2021) *Växtskyddsåtgärder*
<https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtskydd/vaxtskyddsatgarder>
[2021-04-27]

Koehler, A. K., Sottocornola, M. & Kiely, G. (2011) *How strong is the current carbon sequestration of an Atlantic blanket bog?* Global Change Biology 17:1 309-319
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02180.x>

Kubicek, C. P. & Harman, G. E. (1998a) *Trichoderma and Gliocladium Vol. 1*. London: Taylor and Francis

Kubicek, C. P. & Harman, G. E. (1998b) *Trichoderma and Gliocladium Vol. 2*. London: Taylor and Francis

Kumar, K., Amaresan, N., Bhagat, S., Madhuri, K., & Srivastava, R. C. (2012) *Isolation and Characterization of Trichoderma spp. for Antagonistic Activity Against Root Rot and Foliar Pathogens* Indian journal of microbiology 52:2 137–144 <https://doi.org/10.1007/s12088-011-0205-3>

Kuter, G. A., Nelson, E. B., Hoitink, H. A. J. & Madden, L. V. (1983) Fungal populations in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conducive to Rhizoctonia damping-off Phytopathology 73 1450-1456 <https://doi.org/10.1094/PHYTO-73-1450>

Kyllerstedt, I. (2021) *Odling i torv gör Sverige självförsörjande på bär* Viola nr 1 s.26 <https://www.svensktorv.se/2021/01/31/odling-i-torv-g%C3%B6r-sverige-sj%C3%A4lvf%C3%B6rs%C3%B6rjande-p%C3%A5-b%C3%A4r-45113038> [2021-05-05]

Liptay, A. & Tu, J. C. (2003) *Hydroponic chrysanthemum production: cultural and pathological issues* Communications in agricultural and applied biological sciences 68:4 B 613-618 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15151297/> [2021-05-07]

Lopez-Mondejar, R., Bernal-Vicente, A., Ros, M., Tittarelli, F., Canali, S., Intrigliolo, F. & Pascual, J. A. (2010) *Utilisation of citrus compost-based growing media amended with Trichoderma harzianum T-78 in Cucumis melo L. seedling production* Bioresource Technology 101:10 3718-3723 <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.102>

Maher, M., Prasad, M. & Raviv, M. (2008) *Organic soilless media components* ss. 459-504 I: Raviv, M. & Lieth, J. H. (red.) Soilless Culture: Theory and Practice Elsevier: Amsterdam

Mattila, P., Könkö, K., Euroala, M., Pihlava, J. M., Astola, J., Vahteristo, L., Hietaniemi, V., Kumpulainen, J., Valtonen, M. & Piironen, V. (2001) *Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms* Journal of Agricultural and Food Chemistry 49 2343–2348 <https://doi.org/10.1021/jf001525d>

McGinnis, M. S., Wagger, M. G., Warren, S. L. & Bilderback, T. E. (2010) *Nutrient Contribution and Release Kinetics of Vermicompost Amended Pine Bark Compost* Science & Utilization 18:2 97-104 <https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736941>

Menzies, J. G., Ehret, D. L., Koch, C., Hall, J. W., Seifert, K. A. & Barr, D. J. S. (2005) *Fungi associated with roots of cucumber grown in different greenhouse root substrates* Canadian Journal of Botany 83:1 80-92 <https://doi.org/10.1139/b04-153>

Montanari, M., Ventura, M., Innocenti, G. & Sabatini, M. A. (2004) *Compost as substrate for Trichoderma* Management of plant diseases and arthropod pests by BCAs IOBC/wprs Bulletin 27:8 187-190 http://www.iobc-wprs.org/pub/bulletins/iobc-wprs_bulletin_2004_27_08.pdf [2021-05-04]

Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli, U. (2002) *Soil fertility and biodiversity in organic farming* Science 296 1694–1697 <https://doi.org/10.1126/science.1071148>

Nelson, E. B., Kuter, G. A. & Hoitink, H. A. J. (1983) Effects of Fungal Antagonists and Compost Age on Suppression of Rhizoctonia Damping-Off in Container Media Amended with Composted Hardwood Bark Phytopathology 73 1457-1462 <https://doi.org/10.1094/PHYTO-73-1457>

Paula, F. S., Tatti, E., Abram, F., Wilson, J. & O'Flaherty, V. (2017) *Stabilisation of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment* Journal of Environmental Management 1:196 476–486 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.038>

Phan, C. -W. & Sabaratnam, V. (2012) *Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes* Applied Microbiology and Biotechnology 96 863–873 <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4446-9>

Polat, E., Uzun, H., Topçuo, B., Önal, K. & Onus, A. N. (2009) *Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (Cucumis sativus L.) grown in greenhouses* African Journal of Biotechnology 8:2 176–180 https://www.researchgate.net/publication/254406994_Effects_of_spent_mushroom_compost_on_quality_and_productivity_of_cucumber_Cucumis_sativus_L_grown_in_greenhouses [2021-05-07]

Postma, J., van Os, E. & Bonants, P. J. M. (2008) *Pathogen detection and management strategies in soilless plant growing systems I*: Raviv, M. & Lieth, J. H. (red.) Soilless Culture: Theory and Practice Amsterdam: Elsevier 425-457 <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50012-5>

Postma J., Willemsen-de Klein, M. J. E. I. M. & van Elsas, J. D. (2000) *Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot*

caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool
Phytopathology 90:2 125-133
<https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.2.125>

Quantis (2012) *Comparative Life Cycle Assessment of Horticultural Growing Media Based on Peat and Other Growing Media Constituents: final report* <https://www.warum-torf.info/download/comparative-life-cycle-assessment-of-horticultural-growing-media-based-on-peat-and-other-growing-media-constituents> [2021-05-04]

Raviv, M. (2011) *Suppressing soil-borne diseases of container-grown plants using composts* Acta Horticulturae 893 196-181
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.893.11>

Rothwell, J. J., Taylor, K. G., Ander, E. L., Evans, M. G., Daniels, S. M. & Allott, T. E. H. (2009) *Arsenic retention and release in ombrotrophic peatlands* Science of the Total Environment 407:4 1405-1417
<https://scite.ai/reports/10.1016/j.scitotenv.2008.10.015>

Rowson, J. G., Gibson, H. S., Worrall, F., Ostle, N., Burt, T. P. & Adamson, J. K. (2010) *The complete carbon budget of a drained peat catchment* Soil Use and Management 26:3 261-273 <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00274.x>

Royse, D. J., Baars, J. & Tan, Q. (2017) *Current overview of mushroom production in the world I*: Zied, D. C. & Pardo-Giminez, A. (red.) *Edible and medicinal mushrooms: technology and applications* Hoboken: John Wiley & Sons Ltd ss. 5–13 <https://doi.org/10.1002/9781119149446>

Sagar, M. P., Ahlawat, O. P., Raj, D., Vijay, B. & Chandrasekaran, I. R. (2009) *Indigenous technical knowledge about the use of spent mushroom substrate* Indian Journal of Traditional Knowledge 8:2 242-248
https://www.researchgate.net/publication/299226256_Indigenous_technical_knowledge_about_the_use_of_spent_mushroom_substrate [2021-05-18]

Sharma, A., Diwevidi, V. D., Singh, S., Pawar, K. K., Jerman, M., Singh, L. B., Singh, S. & Srivastawav, D. (2013) *Biological control and its important in agriculture* International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research ISSN 2231-1238 4:3 175-180
<https://silo.tips/download/biological-control-and-its-important-in-agriculture#> [2021-04-30]

Sivasithamparam, K. & Ghisalberti, E. L. (1998) *I: Trichoderma and Gliocladium Vol. 1* (red.) Kubicek, C. P. & Harman, G. E. 139-191 (Taylor and Francis, London)

Svenska Svampodlarsföreningen (2017a) *Champinjon*
<http://www.svampodlarna.org/organisation/champinjon/> [2021-05-05]

Svenska Svampodlarsföreningen (2017b) *Ljus framtid för svensk matsvamp*
<http://www.svampodlarna.org/organisation/odlade-svampar-oversikt-om-marknad/> [2021-05-06]

Svensson, B. & Khalil, S. (2017) *Förebyggande åtgärder kan gynna nyttiga mikroorganismer för bättre tillväxt och avkastning vid odling i substrat* (LTV-fakultetens faktablad 2017:11) Alnarp: Institutionen för biosystem och teknologi, SLU

UNDP (2021) *Om globala målen* <https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/> [2021-05-21]

Uzun, I. (2004) *Use of spent mushroom compost in sustainable fruit production* Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 12 157-165
https://www.researchgate.net/publication/228703372_Use_of_spent_mushroom_compost_in_sustainable_fruit_production [2021-05-06]

Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. & Valero, J. R. (2007) *Antagonistic fungi, Trichoderma spp.: panoply of biological control* Biochem Eng J 37(1):1–20 <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>

Vestberg, M., Kukkonen, S., Saari, K., Parikka, K., Huttunen, J., Tainio, L., Devos, N., Weekers, F., Kevers, C., Thonart, P., Lemoine, M.-C., Cordier, C., Alabouvette, C. & Gianinazzi, S. (2004) *Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry* Applied Soil Ecology 27:3 243-258 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.05.006>

Vos, A. M., Heijboer, A., Boschker, H. T. S., Bonnet, B., Lugones, L. G. & Wösten, H. A. B. (2017a) *Microbial biomass in compost during colonization of Agaricus bisporus* AMB Express 7:12 <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0304-y>

Vos, A. M., Jurak, E., Pelkmans, J. F., Herman, K., Pels, G., Baars, J. J., Henrix, E., Kabel, M. A., Lugones, L. G. & Wösten, H. A. B. (2017b) *H₂O₂ as a candidate bottleneck for MnP activity during cultivation of Agaricus bisporus in compost* AMB Express 7 124 <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0424-z>

- Wan, C. & Li, Y. (2012) *Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass* *Biotechnology Advances* 30 1447–1457
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.03.003>
- Weissert, L. F. & Disney, M. (2013) *Carbon storage in peatlands: A case study on the Isle of Man* *Geoderma* 204-205, 111–119
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.016>
- Wilson, S. B., Mecca, L. K. & Stoffella, P. J. (2004) *Evaluation of compost as a viable medium amendment for containerized perennial production* *Acta Horticulturae* 659 697-703 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.91>
- Woods, J., Williams, A., Hughes, J. K., Black, M. & Murphy, R. (2010) *Energy and the food system* The Royal Society
<https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0172>
- Zhu, H. J., Liu, J. H., Sun, L. F., Hu, Z. F. & Qiao, J. J. (2013) *Combined alkali and acid pretreatment of spent mushroom substrate for reducing sugar and biofertilizer production* *Bioresource Technology* 136 257–266
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.02.121>
- Yogev, A., Raviv, M., Hadar, Y., Cohen, R. & Katan, J. (2006) *Plant waste-based composts suppressive to diseases caused by pathogenic *Fusarium oxysporum** *European Journal of Plant Pathology* 116 267-278
<https://doi.org/10.1007/s10658-006-9058-8>
- Yu, Z. C., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W. & Hunt, S. J. (2010) *Global peatland dynamics since the last glacial maximum* *Geophysical Research Letters* 37 L13402 <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>

Tack

Vi vill tacka vår handledare Sammar Khalil och biträdande handledare Madeleine Ugglå för all hjälp och visat intresse. Det har gjort mer för oss än ni trott.