



Användning av biokol vid odling av ostronskivling

Lilja Bergquist

Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap
Institution för Biosystem och teknologi
Trädgårdsingenjörsprogrammet - odling
Alnarp 2023



Användning av biokol vid odling av ostronskivling

Use of biochar in cultivation of oyster mushrooms

Lilja Bergquist

Handledare: Malin Hultberg, Sveriges lantbruksuniversitet, Biosystem och teknologi

Examinator: Lotta Nordmark, Sveriges lantbruksuniversitet, Biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i biologi

Kurskod: EX0855

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör– odling

Kursansvarig inst.: Inst. för Biosystem och teknologi

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2023

Omslagsbild: Lilja Bergquist

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd

Nyckelord: ostronskivling, biokol, *Pleurotus ostreatus*, svampodlingssubstrat

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institution för Biosystem och teknologi

Sammanfattning

För att säkra vår matproduktion i framtiden står vi inför utmaningar och ett behov av att skapa mer cirkulära system. Det här arbetet inkluderar biokol och svampodling, två branscher på framkant för att skapa mer cirkularitet, gynna matproduktionen och erbjuda alternativa näringskällor.

Biokol tillverkas av rester av organiska material som värms i höga temperaturer i en syrefattig eller syrefri miljö. Resterna kommer ofta från olika industrier och kan vara allt från träflis från skogsbruket till slam från reningsverk. Tillverkningsprocessen och ursprungsmaterialet påverkar egenskaperna men generellt har biokol en god absorptionsförmåga och är bra på att hålla fukt, vilket gör det potentiellt användbart som del i ett odlingssubstrat.

Biokol som odlingssubstrat i svampodling är något som undersökts i tidigare studier med blandade resultat, i vissa fall har det ökat tillväxthastigheten på mycelet samt gett mer fruktkroppar och i andra fall har resultatet varit det motsatta. En slutsats som kunnat dras från tidigare studier är att biokolets påverkan är till stor del beroende av koncentrationen. Det kan även vara svårt att jämföra olika sorter av biokol då variationen sinsemellan sträcker sig över ett stort spann.

I den här studien undersöktes två olika sorter av biokol och deras påverkan på mycel och fruktkroppsbildning hos ostronskivling (*Pleurotus ostreatus*) vid tillsättning i odlingssubstratet. Varav en sort var tillverkad från halm och fröskal och den andra av slam från reningsverk. Först undersöktes hur myceltillväxten påverkades av koncentrationer varierandes mellan 5–40%. Därefter valdes två koncentrationer ut som sågs gynna tillväxten. Odlingssubstratet innehållandes sågspån av björk och vetekli blandades sedan med de valda koncentrationerna av biokol och inokulerades med mycel av *P. ostreatus*. Efter 34 dagar skördades de första fruktkropparna och den biologiska effektiviteten räknades ut. I detta fall visade resultatet att båda sorterna av biokol hade en hämmande effekt på fruktkroppsbildningen, något som skulle kunna vara orsakat av en för hög koncentration. Denna hämmande effekt av dessa koncentrationer sågs inte på myceltillväxten, vilket indikerar att biokol påverkar tillväxt av mycel och fruktkroppar olika.

En möjlighet är att biokolens påverkan på svamptillväxt ska delas upp i två steg – biokolen har en typ av påverkan på myceltillväxt och en annan på fruktkroppsbildningen. Vid upprepning av försöket föreslås lägre koncentrationer och större mängd substrat per låda.

Nyckelord: ostronskivling, ostronmussling, biokol, svampodling, *Pleurotus ostreatus*, cirkulär ekonomi

Abstract

To secure our future food production we are facing challenges and opportunities in creating more sustainability and circular systems. This study will touch on the subject biochar and mushroom cultivation combined, two industries on the rise to create more circular systems, to promote food production and provide alternative sources of nutrition.

Biochar is mainly made from organic residues from industries, it can be everything from wood shavings from the forest industry to sewage sludge. There can be big differences between different types of biochar. This is caused by the origin of the organic material and differences in the creation process. In general, biochar has good absorptive capacity and moisture retention, which makes it potentially useful as an ingredient in cultivation medium.

Biochar as substrate in the cultivation of mushrooms has been studied previously, with varied results. In some cases it has increased the growth of the mycelium and the amount of fruitbodies and in others the opposite. A conclusion from previous studies is that the result is dependent on the biochar concentration in the substrate. It can be difficult to compare different biochars due to the differences in characteristics.

In this study, the impact of two different kinds of biochar has been examined on both the mycelium growth and the fruitbody production of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). One biochar was made from straw and seed coat and the other one from sewage sludge. First the impact of biochar was measured on the mycelium growth in Petri dishes in concentrations varying between 5-40 %. Thereafter two concentrations were chosen based on the performance of the mycelium. After 34 days the fruitbodies were measured and the biological efficiency was calculated. The result showed that both biochars had an inhibiting effect on the fruitbody production. This wasn't the case with the mycelium growth, indicating that biochar affects mycelium and fruitbody production differently.

A propose is that the impact of biochar should be divided into two steps – biochar has one influence on mycelium growth and another on the production of fruiting bodies. If conducting the experiment once more a suggestion is to lower the concentrations of biochar and increase the amount of substrate per box.

Keywords: oyster mushroom, biochar, mushroom cultivation, *Pleurotus ostreatus*, circular economy

Innehållsförteckning

Tabellförteckning.....	6
Figurförteckning.....	7
Förkortningar.....	8
1. Introduktion	9
1.1 Svampodling.....	10
1.1.1 Ostronskivling (ostronmussling)	12
1.1.2 Odlingsparametrar för ostronskivling	15
1.2 Biokol.....	16
2. Syfte, frågeställning samt studiens avgränsning.....	18
2.1 Syfte och frågeställning	18
2.2 Avgränsning	18
3. Material och metod	19
3.1 Litteraturstudie	19
3.1.1 Litteraturstudie kring biokols effekt i svampodlingssubstrat	19
3.2 Odlingsförsök.....	21
3.2.1 Mikroorganism samt biokol.....	21
3.2.2 Odlingssubstrat samt odlingsparametrar	21
3.2.3 Försöksupställning samt analyser	24
4. Resultat.....	25
4.1 Laborativ studie	25
4.1.1 Myceltillväxt.....	25
4.1.2 Fruktkroppsbildning	26
5. Diskussion.....	28
Referenser	32

Tabellförteckning

Tabell 1. De behandlingar som genomförts under arbetet kring fruktkroppsproduktion...	24
Tabell 2. De olika beståndsdelarna i substratet.....	24
Tabell 3. Effekt av biokol på tillväxt av <i>Pleurotus ostreatus</i> vid odling i petriskål.	26
Tabell 4. Fruktkropps bildning av <i>P. ostreatus</i> odlad på substrat med olika mängd biokol.	27

Figurförteckning

Figur 1. Bild av vildväxande blek ostronskivling, <i>Pleurotus pulmonarius</i>	13
Figur 2. Exempel på olika färger hos ostronskivling	14
Figur 3. Bild på odlingslådorna och de olika substraten.	22
Figur 4. Bilder på myceltillväxten under försökets gång	22
Figur 5. Bilder på bildandet av primordia.	23
Figur 6. Bild av mogna fruktkroppar samt vägning.....	23
Figur 7. Tre bilder av de olika stegen i fruktkroppsbildningen hos <i>P. ostreatus</i>	27

Förkortningar

BE	Biologisk effektivitet (Biological efficiency)
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet (Swedish University of Agriculture)
SMS	Använt svampsubstrat (Spent mushroom substrate)
RH	Relativ luftfuktighet (Relative humidity)

1. Introduktion

Svamparna tillhör riket Fungi och består av cirka 120 000 kända arter men det uppskattas att det finns mellan 2.2–3.8 miljoner (Hawksworth & Lücking 2017). Svampar har många olika egenskaper och användningsområden, allt från mat, fermentering och som byggnadsmaterial (Manan m.fl. 2021). Vissa arter har också medicinska användningsområden eller som hälsoprodukter. Att hitta och odla alternativa näringskällor kommer bli allt viktigare i framtiden, med ökade befolkningsmängder och svårare odlingsförhållanden med längre perioder av torka (ICCP 2023). Där skulle svamp kunna fylla en viktig funktion. Svamp innehåller en stor mängd protein, enligt Stamets (1993) rapporteras ostronskivling innehålla runt 15–35 % protein baserat på torrvikten. Jämfört med broccoli som i en analys av Livsmedelsverket (2013) innehåller 1.9-2.4 g/100g. Jämförelsevis med grönsaker och rotfrukter som morot och potatis har svampar ett högre innehåll av protein och en mer balanserad profil av aminosyror (Mattila m.fl 2002).

Svampen som ses ovan mark är reproduktionsorgan som kallas fruktkroppar, dessa är fyllda av sporer. Under marken finns svampen som ett grenverk av trådar som kallas hyfer, tillsammans bildar hyferna mycel. Likt svampens underjordiska delar är även fruktkropparna uppbyggda av hyfer. Svampar är till skillnad från växter heterotrofa, de kan inte producera sin egen näring utan är beroende av andra organismer (Chang & Miles 2004). De kan leva i symbios med andra organismer eller som nedbrytare av dött organiskt material (Redman m.fl 2001). Nedbrytande svampar utsöndrar enzymer som bryter ner ämnen och gör de mer lättupptagliga (Chang & Miles 2004). Det symbiotiska förhållandet mellan svampar och andra organismer kan se ut på många olika sätt (Redman m.fl 2001). Det kan exempelvis vara mutualistiskt - att båda drar nytta av relationen. Kommensalistisk - att den ena drar nytta utan att det påverkar den andra nämnvärt. Eller parasitiskt - att den ena tjänar på relationen på bekostnad av den andra.

Det finns olika typer av nedbrytande svampar, exempelvis vit- och brunrötesvampar (Chang & Miles 2004). Detta är en uppdelning som gjorts efter vilka delar i träet svampen bryter ner. Vitrötesvampar bryter ner alla komponenter i växters cellväggar (Mäkelä m.fl 2021). Vilket bland annat innefattar cellulosa, hemicellulosa samt lignin. Detta sker med hjälp av enzymer som cellulasa och

ligninolytiska enzymer. Enzymerna utsöndras från hyferna och omvandlar ämnena från polysackarider till monosackarider, vilket gör dem mer tillgängliga för svampen (Chang & Miles 2004). Trä drabbat av vitröta får en blek färg, blir mjukt, poröst och trådigt (Mäkelä m.fl 2021). Brunrötesvampar bryter ner cellulosa och hemicellulosa liksom vitrötesvampar medan ligninet omvandlas (Mäkelä m.fl 2021). Ligninet som finns kvar ger träet den bruna färgen samt är försvagat, vilket resulterar i att träet spricker upp i karaktäristiska kantiga bitar.

1.1 Svampodling

Odling av svamp började cirka 600 år efter Kristi födelse men svamp har använts av människor redan innan dess (Chang & Miles 2004). Flera tidiga civilisationer av människor använde svamp i mat, för medicinska användningsområden och i religiösa ceremonier. Idag är svampodling ansedd att vara den näst viktigaste kommersiella mikrobiella teknologin efter jäst (Pathak m.fl 2009). År 2021 producerades det cirka 44 miljoner ton svamp och tryfflar i världen (Statista 2023).

Den första kända formen av odling är från Kina, där odlades shiitake (*Lentinula edodes*) på trästockar utomhus (Grimm & Wösten 2018). Denna odlingsform har bytts ut mot andra varianter anpassade för inomhusodling, som odling i brickor och plastpåsar hängandes från taket eller placerade i hyllsystem.

Att odla svamp består av ett flertal steg som kräver noggrannhet och god hygien för att undvika kontamination av andra mikroorganismer, som exempelvis mögelsvampar (Stamets 2000). Stegen består av förberedelse av substratet där svampen ska odlas, inokulation av den svamp som ska odlas, inkubation och specifika odlingsförhållanden anpassade efter sorten som odlas.

För en god start är det viktigt att mycelet från svampen man vill odla är rent, för att undvika konkurrens (Sanchez 2009). Detta kan åstadkommas genom att samla sporer från svampsorten man vill odla och låta mycelet växa till på ett sterilt medium. Det kan även köpas färdigt inokulum av god kvalitet från en återförsäljare. Det mycel som används för att starta en odling kallas för primärt spawn. Mycelet kan sedan placeras i pastöriserat eller steriliserat substrat. Vilket kan vara i form av pelleterat trä, spån, halm, vetekli eller en hel rad med andra substrat som testats genom åren (Raman m.fl 2021, Stamets 2000). Substratet kan placeras i påsar och burkar eller större lådor, beroende på vilka kvantiteter man arbetar med (Sánchez 2009). När detta substrat har koloniserats av mycelet kan det delas upp ytterligare en gång och producera så kallat sekundärt spawn (Stamets 1993). Detta mycel kan sedan inokulera nytt pastöriserat eller steriliserat substrat.

Pastörisering är en form av värmebehandling, där man värmer upp exempelvis livsmedlet eller i detta fall substratet till 60 °C under 1–2 timmar (Sánchez 2009). Substratet kyls ner innan det inokuleras med spawn. En metod som ofta används är att substratet placeras i en form av blandare eller mixer där vatten i form av ånga adderas för att värma substratet (Sánchez 2009). Detta utförs för att döda bakterier och mikroorganismer. Pastörisering tar inte död på allt utan reducerar mängden mikroorganismer till mer hanterbara nivåer. Sterilisering däremot tar död på de flesta organismer och sker vid temperaturer över 121 °C och ofta med hjälp av en tryckkokare eller genom autoklavering (Grocycle 2023). Substrat som är rika på näring eller innehåller mycket tillskott exempelvis gödsel eller sädeslag som vete och ris behöver steriliseras. Medan substrat som halm, sågspån och kartong, vilka innehåller mindre näring endast behöver pastöriseras.

Processen från inokulering med spawn fram till skörd av fruktkroppar tar olika lång tid för olika arter. En riktlinje är att färdiga fruktkroppar kan sköras från substratet 3–4 veckor efter att mycelet har fyllt ut substratet (Sanchez 2009). Ostronskivling är en av de matsvampar som det går snabbast att odla. På ett bra substrat kan perioden från inokulering till skörd ta cirka 1 månad (Stamets 2000).

Substratet man använder sig av behöver ha en god struktur (Stamets 2000). Substrat där storleken på kornen är liten, exempelvis sågspån, riskerar att skapa en anaerob miljö då luftfyllda mellanrum riskerar att försvinna på grund av kompression. Detta ökar risken för att den tillsatta svampen inte kan kolonisera och att andra konkurrerande mikroorganismer växer till. Använder man sig av större träflisor skapas lätt för stora mellanrum och det krävs mycket energi för svampen att fylla luckorna mellan flisorna. Vilket leder till ett luftigt mycel som kan sakna kapacitet att generera fruktkroppar på grund av energibrist. Det optimala substratet innehåller därför en blandning av både små och större korn samt flis.

Odling av svamp kan ske både inom- och utomhus (Stamets 1993). Vid utomhusodling förlitar man sig på vädret och årstiderna, vilket gör att vissa delar av året inte alltid uppfyller de odlingsförhållanden alla svampsorter kräver. Det kan skilja sig mycket mellan olika sorter inom en art, lokala vildväxande sorter kan exempelvis uppvisa större köldtålighet eller sakna behov av en köldperiod för inducerad fruktkroppsbildning (Stamets 1993). Inomhusodling däremot ger på ett annat sätt möjligheten att kontrollera klimatfaktorerna och förlänga odlingssäsongen. Detta skapar dock högre kostnader, vilket kan vara ett hinder för de som vill börja odla.

Svampar kräver förutom syre även tillgång till vissa makro- och mikronäringsämnen för att utvecklas och växa normalt (Chang & Miles 2004). Makronäringsämnena innefattar C och N som är de viktigaste samt P, K och Mg.

Mikronäringsämnen som behövs är Ca, Cu, Fe, Se, Zn, Mo, Mn. C/N-kvoten är en annan viktig parameter som ofta mäts i svampsubstrat. Svamp behöver likt andra organismer ha tillgång till kväve för att få en god tillväxt. C/N-kvoten varierar mellan olika svampsorter, enligt Kumla m.fl. (2020) behöver C/N-kvoten ligga mellan 40/1–90/1 för *P. ostreatus*, där optimum är 45–60/1. För mycket kväve verkar hämmande på tillväxten och för lite gör tillväxthastigheten långsam (Bellettini m.fl. 2019). Svamp föredrar organiskt framför mineraliskt kväve.

1.1.1 Ostronskivling (ostronmussling)

Pleurotus ostreatus tillhör familjen *Pleurotaceae* och är efter champinjon (*Agaricus bisporus*) den mest odlade svampen i världen (Sánchez 2009). Enligt Raman m.fl (2021) står den för 25 % av den totala svampproduktionen i världen. Det är en jämförelsevist snabbväxande och lättodlad svamp med få behov för miljökontroll, då fruktkropparna sällan blir angripna av sjukdomar eller skadedjur (Sánchez 2009). Substratet man odlar i behöver endast pastöriseras och inte steriliseras, vilket drar ner kostnaden för produktionen.

Ostronskivlingen har en hög biologisk effektivitet, 75–200 % av substratets massa kan omvandlas till fruktkroppar (Stamets 2000). Biologisk effektivitet är ett mått på hur mycket fruktkroppar det blir per gram torrsvikt substrat, uttryckt i procent (Liang m.fl. 2019). Svampen innehåller protein, fria lättupptagliga aminosyror och flera olika vitaminer, däribland kalcium, magnesium och kalium (Feeney m.fl 2014). Näringsinnehållet påverkas till viss del av vilket substrat svampen vuxit i och vilken sort av arten man odlar (Stamets 1993).

Ostronskivling tillhör gruppen basidiesvampar, vilket är ett fylum av svampar där produktionen av sporer sker utanpå något som kallas basidier (Nationalencyklopedin 2023). Basidierna i sin tur är placerade på utväxter eller inbuktningar på fruktkropparna. På *P. ostreatus* sitter de på skivorna under hatten. I stort sett är basidierna det enda denna grupp har gemensamt. Andra exempel på basidiesvampar är flugsvamp, fingersvamp och röksvamp.

Ostronskivlingens naturliga habitat är vanligtvis som växande på bland annat ek, björk, poppel, lönn, bok, al, ask och pil (Stamets 1993). Den växer oftast på redan döda träd men förekommer utöver det också på levande försvagade träd. I Sverige är den vanligast i den södra delen av landet, där den under milda höstar och vintrar kan bilda fruktkroppar under långa perioder (Holmberg & Marklund 2014). Se fig. 1 nedan för exempel på vildväxande ostronskivling.



Figur 1. Bild av vildväxande blek ostronskivling, *Pleurotus pulmonarius* (Lilja Bergquist).

Ostronskivling är en vitrötesvamp som kan odlas i många olika typer av träslag, som björk, al, ek, bok men även andra material som blad och stam från majs och banan samt kaffesump (Raman m.fl 2021, Stamets 2000). Detta öppnar upp för möjligheter att odla i restprodukter från jordbruks- och skogsindustrin, vilket kan skapa ett cirkulärt kretslopp. Produktionen i sig släpper dessvärre ut mycket koldioxid och skapar restprodukter i form av använt substrat (Grimm & Wösten 2018). Inom livsmedelsproduktionen jobbar man mycket med att utveckla produktionssystem som är cirkulära dvs där restprodukter återanvänds för ny produktion (Grimm & Wösten 2018). För att svampodling ska bli hållbart är det viktigt att hitta ett användningsområde för det använda odlingssubstratet.

P. ostreatus fruktkroppar kan ha många olika färger, smaker och texturer. Färgen kan vara allt från rosa, grön, blå, grå, brun och vit eller guldaktig (Stamets 1993).

Nedan är tre exempelbilder på de olika färgerna, från vänster och nerifrån och upp: rosa ostronskivling (*Pleurotus salmoneo-stramineus* stam M2708), gul ostronskivling (*P. citrinopileatus* stam M2502), brun ostronskivling (*P. ostreatus* stam M2191).



Figur 2. Exempel på olika färger hos ostronskivling (Malin Hultberg).

Till en början är fruktkropparnas hattar konvexa med inrullad kant men allt eftersom svampen växer blir hatten rakare för att slutligen vinklas åt motsatt håll, uppåt (Stamets 2000). Storleken är mellan 5-15 cm bred och foten är kort (Mossberg m.fl 2021). Färgen på fruktkropparna kan variera mycket i färg beroende på sort men även temperatur- och ljusförhållande påverkar (Stamets 2000). Just *P. ostreatus* har en blågrå färg som ung och en brungrå som äldre (Holmberg & Marklund 2014). Smaken är mild och doften svag och den är nära släkting med fjällticka och vinterticka (Mossberg m.fl 2021).

Nackdelar med *P. ostreatus* och andra svampar i förhållande till andra hortikulturella grödor, är att fruktkropparna endast håller sig fräscha i ett par dagar (Fayssal m.fl 2023). Det gör att de inte kan transporteras några längre sträckor så länge de inte torkas (Stamets 2000). Om försäljning och konsumering sker inom närområdet behöver inte detta vara ett problem. Fruktkropparna släpper även ifrån sig en stor mängd sporer, vilket kan vara hälsovådligt för arbetare. Det har dock

utvecklats spörlösa sorter, som är hett eftertraktade av odlare. Ytterligare en nackdel är att de kan dra till sig stora mängder av flugor tillhörande familjerna *Phoridae* och *Sciaridae* (Stamets 2000). Flugorna kan börja svärma runt de mogna fruktkropparna, vilket påverkar arbetsmiljön negativt.

1.1.2 Odlingparametrar för ostronskivling

Ostronskivling kan odlas i olika typer av substrat, exempelvis i nästan färskt trä eller i komposterat material (Chang & Miles 2004). Ursprunget av det organiska materialet i substratet är av mindre vikt men det är av stor vikt att rätt odlingsparametrar används i de olika stegen. pH-värdet i alla stegen bör ligga mellan 6-8 (Stamets 1993). Vilket kan justeras med hjälp av olika tillsatser (Balan m.fl 2022).

Kolonisering av substrat

Efter inokulering av startmaterialet, som kallas spawn, börjar svamphyferna växa i substratet och bildar mycel. Vid detta stadiet vill svampen ha en relativ luftfuktighet mellan 50–70 % samt ett fuktinnehåll i substratet på 60–75% (Stamets 1993). Mängden spawn man inokulerar med påverkar hastigheten på tillväxten - tiden fram till att man har färdiga fruktkroppar, vanligen tar det mellan 3–4 veckor. Mängden spawn av *P. ostreatus* brukar ligga mellan 0.5-4 % av substratets torrsvikt (Balan m.fl 2022). Temperaturen i substratet ska ligga runt 24 °C (Stamets 2000). En högre temperatur ökar tillväxten men främjar konkurrerande mer termofila organismer (Stamets 1993). *P.ostreatus* är en mesofil svamp (Chang & Miles 2004). Mycelets tillväxtperiod varar mellan 12–21 dagar, halten koldioxid i luften kan med fördel ligga mellan 5000–20 000 ppm och ljusstillgången ska vara begränsad (Stamets 2000). Ljus har under koloniseringen ingen positiv effekt på tillväxthastigheten. Mycelet växer gärna i mörker och över 10 000 lux är det till och med skadligt (Stamets 1993).

Primordia formation

Primordia är förstadiet till fruktkroppar som kan ses i figur 5 (s.22) och 7 (s.27), vilket kan liknas med små nålhuvuden. När mycelet slutat växa, exempelvis för att näringen är slut, sjunker temperaturen i substratet och det är tid att inducera formationen av fruktkroppar (Stamets 2000). Det gör man genom att reglera fyra faktorer: temperatur, fukt, luftutbyte och ljus.

För att bildandet av primordia ska komma igång krävs en köldperiod på 3–5 dagar, där temperaturen håller sig mellan 10–16 °C (Stamets 2000). Fukthalten ska i detta steg ligga mellan 95–100 %, substratet kan vattnas för att uppnå detta. En hög motsvarande relativ luftfuktighet krävs också för att substratet ska kunna behålla fukten. När man ser att primordia börjar formas kan fuktigheten sänkas något.

Luftutbytet i detta steg är viktigt för att koldioxidhalten inte ska bli för hög, att hålla sig under 1000 ppm är lämpligt. Ljustillgången ska ligga mellan 1000 – 1500 lux, direkt solljus är skadligt (Stamets 2000). För hög halt koldioxid i luften och ljusbrist kan orsaka elongerade stammar och missformade hattar. Blir ljuset för starkt kan det alterera färgen på fruktkropparna, till en ljusare eller mörkare än normalt.

Bildning av fruktkroppar

Vid fruktbildningen vill man ha en något lägre fukthalt än vid föregående steg, det är lämpligt att ligga runt 85–90 % (Stamets 2000). Svampen kan sprayas med vatten, så länge överflödigt vatten har möjlighet att absorberas eller evaporera. Även i detta steg är ett gott luftutbyte viktigt för att undvika för höga halter av koldioxid, likt föregående steg är under 1000 ppm lämpligt. Ljustillgången ska likt vid bildandet av primordia ligga mellan 1000–1500 lux.

Temperaturen kan höjas eller vara densamma som under bildandet av primordia, temperaturen styr tillväxthastigheten men kallare temperatur kan ge fastare fruktkroppar (Stamets 2000). Temperaturen kan ligga mellan 10–21 °C.

Bildandet av fruktkroppar tar mellan 4–7 dagar men hela skördeperioden sträcker sig ofta över 45–55 dagar, med 7–14 dagars mellanrum mellan skördarna (Stamets 2000). Det kan vara möjligt att få upp till 3–4 skördar.

1.2 Biokol

Biokol är en produkt som bildas vid upphettning av organiska material under syrefattiga eller syrefria förhållanden (Wu m.fl 2017). Tre olika processer används för att tillverka biokol, hydrotermisk karbonisering, gasifikation och pyrolys (Wang & Wang 2019). Det är vanligtvis pyrolys som används. Denna metod innebär att organiskt material upphettas i en syrefri miljö till en temperatur mellan 300-900 °C (Cha m.fl 2016).

Biokol innehåller en hög kolhalt och kan tillverkas av det flesta organiska råmaterial, vilka ofta är restprodukter som halm, skal, trä, slam från avlopp eller använt svamps substrat (Lam m.fl. 2018, Wang & Wang 2019). Biokolet får olika egenskaper beroende på ursprung, exempelvis innehåller biokol av halm mer kalium och har ett högre pH-värde än det tillverkat av trä (Vaughn m.fl 2013). Även tillverkningsprocessen påverkar egenskaperna (Mohan m.fl 2018). En studie av Hossain m.fl (2011) visade att pH-värdet på biokol tillverkat av slam från reningsverk blev surt vid lägre tillverknings temperatur och basiskt vid höga. Detta skapar en möjlighet att producera basisk biokol som kan användas för att höja pH-värdet i sura jordar eller substrat och tvärtom (Kuppusamy m.fl 2016). Generellt

har biokol god adsorptionsförmåga och kan i ett substrat bibehålla mer näring och vatten (Nam m.fl 2018). Detta på grund av att det är poröst, har en stor yta i förhållande till sin volym och innehåller en stor mängd porer.

Det finns många olika användningsområden för biokol, några exempel är att det kan ta upp föroreningar och tungmetaller genom adsorption (Wang & Wang 2019). Det kan även användas till kolinlagring, dvs fungera som kolsänka, som tillsats i kompostering och som jordförbättring (Wu m.fl 2017, El-Naggar m.fl 2019).

Man tillverkar biokol för att ta tillvara på restprodukter och skapa ett mer cirkulärt system. Det tillverkas av sådant som annars riskerar att gå till spillo och istället skapas ett kommersiellt värde (Mahari m.fl 2020). Av vikt är att biokolen tillverkas i närområdet där den sedan används, för att undvika stora transportsträckor och minska miljöpåverkan.

2. Syfte, frågeställning samt studiens avgränsning

2.1 Syfte och frågeställning

Syftet med detta arbete är att undersöka hur matsvampens tillväxt påverkas då biokol tillsätts till odlingssubstratet. Detta kommer att göras genom en litteraturstudie samt genom odlingsförsök. Det finns olika typer av biokol och två olika typer kommer att testas i de praktiska försöken.

För odlingsförsöket är den specifika frågeställningen hur ostronskivlingens myceltillväxt påverkas av olika biokolskoncentrationer samt hur fruktkroppsbildningen påverkas av att biokol finns tillsatt i odlingssubstratet i en koncentration av 5 % samt 10 %.

2.2 Avgränsning

Detta försök genomförs med en stam av *P. ostreatus* M2191 samt i ett substrat baserat på sågspån av björk samt vetekli. De resultat som presenteras gäller alltså dessa förhållande och kan inte generaliseras. I litteraturstudien har flera arter av matsvamp inkluderats men fokus har varit på ostronskivling.

3. Material och metod

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har fokuserat på aktuell forskning kring användning av biokol vid odling av matsvamp och informationen kommer främst från vetenskapliga artiklar. De databaser som använts vid sökningen har varit till förfogande via SLU:s bibliotek och är Primo, Web of Science och Google Scholar. De sökord som använts har kombinerats på olika sätt i takt med arbetets utveckling.Handledaren har även rekommenderat relevant litteratur. Syftet med litteraturstudien är att undersöka hur matsvamp påverkas av tillsättning av biokol i odlingssubstratet.

Sökord: Cultivation, *Pleurotus ostreatus*, carbon emission, nutritional value, biochar, spent mushroom substrate, ostronskivling, mushroom substrate, fungi, mushroom production, mushroom cultivation.

3.1.1 Litteraturstudie kring biokols effekt i svampodlingssubstrat

Som inledning och förstärkning av syftet med odlingsförsöket utfördes en litteraturstudie. Litteratursökningen visade att det endast var fem studier som har fokuserat på hur biokol påverkar odlingen av matsvamp. Ett betydligt mer undersökt, och närliggande område, är hur använt svampodlingssubstrat kan användas för att producera biokol.

I ett försök utfört av Taskin med flera (2019) tillsatte man två olika sorters biokol tillverkat av olika restprodukter i form av trä och fast avfall i substratet i halterna 0.4 eller 2 %. Svamparna man odlade var *P. ostreatus*, *P. eryngii* och *Trametes versicolor*. Man kunde se att den höga koncentrationen hade en något hämmande effekt från båda sorterna. Den lägre koncentrationen av den ena biokolen gav en ökad tillväxt och ökad enzymaktivitet men inte hos den andra. Det tros bero på innehållet och skillnad i komposition mellan sorterna av biokol. I en studie av Zhang m.fl (2018) beskrivs att vissa av komponenterna som är förekommande i de här sorterna av biokol kan ha en hämmande effekt på vedlevande svampar.

Ett av försöken som utförts med biokol och svampodling som exempelvis Hu m.fl. (2022), har varit att man gjort biokol av använt svampsubstrat för att återanvända i odling av *P. ostreatus*. Syftet med studien var att undersöka om använt svampsubstrat kunde återanvändas effektivt på det här sättet. Halterna man använde sig av var cirka 2 %, 4 % och 6 %. Resultatet i denna studie visade att i detta fall minskade tiden fram till skörd och mängden fruktkroppar ökades för de två lägre koncentrationerna. Detta tack vare biokolets fysikaliska egenskaper, bland annat att den har en stor yta i förhållande till sin volym och är poröst. Detta ger en god fukthållande förmåga samt ökade möjligheter för svampsporererna att fästa och därmed en större chans till tillväxt.

I ett försök utfört av Lam m.fl (2018), där man tillverkade egen biokol av svampsubstrat för att använda som odlingssubstrat hade biokol en positiv effekt på myceltillväxten. Substratet där mycelet växte mest bestod av 200 g biokol, 100 g risskal, 12 g gips och 5 gram spawn. Den motsvarande kontrollen bestod av 200 g sågspån och 100 g risskal, 12 g gips och 5 g spawn. Fruktkropps bildningen var 25 % rikligare i biokolssubstratet. Detta tros bero på biokols porositet och vattenhållande förmåga, vilket gav goda förutsättningar för mycel och fruktkropps bildning. Svampen som odlades var *P. ostreatus*.

Mahari m.fl (2020) har utfört ett försök där restprodukter från tillverkningen av palmolja användes till att göra biokol, som sedan användes till odling av ostronskivling (*P. ostreatus*). Halten biokol man använde sig av i substratet var 2,5 %. I deras studie hjälpte biokolen till att öka och bibehålla och fukthalten, skynda på mycelets kolonisering av substratet samt hålla pH-värdet inom en enligt denna studie optimal nivå (6.8–7) under koloniseringen.

Biokol tillverkat av restprodukter från palmoljetillverkningen har även använts som tillsatts i substrat för att öka tillväxten och därmed förkorta tiden från kolonisering till skörd samt öka skördemängden (Nam m.fl 2018). I försöket blandades biokol ner i substratet i tre olika halter, om man utgår från att fukthalten i substratens friskvikt är 65 % motsvarar procentsatserna för torrsvikt 2.9, 5.7 och 8.6 %. Jämfört med kontrollen som inte innehöll biokol gick det snabbare för mycelet att helt kolonisera substratet i de tre blandningar innehållandes biokol. Fortast gick det för substratet innehållandes 5.7 %. Även i detta försök var det *p. ostreatus* som odlades.

3.2 Odlingförsök

3.2.1 Mikroorganism samt biokol

Spawn av *P. ostreatus* M2191 har använts i försöken för att studera fruktkroppsproduktion. Detta material har köpts in från Mycelia BVBA, Belgien. När myceltillväxten har följts i petriskål har svampen inokulerats från malt agar i form av utstansad agar med en diameter av 1,5 cm.

Två olika sorters biokol användes i försöket, en gjord på halm samt fröskal och den andra på slam från reningsverk, båda kommer från Skånefrö (2023). Endast den av halm och fröskal finns ute på marknaden. Biokolen gjord av halm och fröskal benämns i försöket som biokol 1 och den av slam som biokol 2.

3.2.2 Odlingssubstrat samt odlingsparametrar

Test av myceltillväxt i petriskål

Biokol, typ 1 och typ 2, blandades in i ett svampodlingssubstrat i varierande koncentrationer (viktprocent baserat på torrsvikt). Svampodlingssubstratet innehöll 75% sågspån av björk samt 25% vetekli (kontroll 1). Vilket enligt Stamets (2000) är standarden för substrat vid svampodling. Ytterligare ett svampodlingssubstrat användes, kontroll 2, detta innehöll 73% sågspån av björk, 25% vetekli samt 2% kalciumkarbonat (CaCO₃). Det svampodlingsmedium som användes för att blanda in biokol vid efterföljande försök med fruktkroppsproduktion var kontroll 1. Vatten tillsattes till varje substrat för att nå en vattenhalt av 65%. Därefter pastöriserades substraten på 70 °C över natten. pH mättes genom att 1 g substrat blandades med 5 ml destillerat vatten och skakades i 1 h. pH mättes med pH-meter (Hach Lange HQ40d) enligt SIS (2012). När substraten svalnat fördelades 20 g substrat i varje petriskål. Tre petriskålar användes för varje behandling. Ymp av svampen (*P. ostreatus*) skars ut från maltagar med steriliserad kärnhusborttagare (1,5 cm) och placerades i mitten av petriskålen. Mycelets tillväxt följdes genom att diametern mättes dag 4 och dag 6. På dag 6 gjordes även en bedömning av mycelets täthet, se tabell 3. Här bedömdes replikaten visuellt i förhållande till varandra som antingen + (tät), 0 (varken tät eller gles), och - (gles).

Test av fruktkroppsproduktion

Baserat på resultaten ovan valdes 5 och 10 viktprocent av biokolen ut som behandlingar för att testa fruktkroppsproduktionen. Substraten blandades och pastöriserades enligt ovan baserat på kontroll 1. Substraten fördelades i odlingsboxar (Fig. 3) och 193 g torrsvikt substrat tillsattes till varje box.



Figur 3. Bild på odlingslådorna och de olika substraten (Lilja Bergquist).

Totalt 40 g av startmaterial av ostronskivling (spawn) tillsattes till varje box och blandades noga in i substratet. Inblandningen gjordes i sterilbänk för att minska risken för infektioner av andra svampar. De inokulerade och tillförslutna boxarna sattes i ett odlingstält med temperaturen 18–21 C. Boxarna följdes över tid för att se hur mycelet tillväxte i substratet (Fig. 4).



Figur 4. Bilder på myceltillväxten under försökets gång (Lilja Bergquist).

Efter 27 dagar sattes boxarna i kyla (4–8 °C) under 4 dagar. Därefter sattes boxarna tillbaka till odlingstältet, öppnades och den relativa fuktigheten (RH) i tältet ökades

till 80%. Under de följande dagarna kontrollerades boxarna ofta för att följa bildningen av primordia (Fig.5).



Figur 5. Bilder på bildandet av primordia (Lilja Bergquist).

Efter bildning av primordia, och senare fruktkroppar, bestämdes friskvikten av de skördade fruktkropparna (Fig. 6). Dag 50 efter start av odlingen avslutades försöket.



Figur 6. Bild av mogna fruktkroppar samt vägning (Lilja Bergquist).

Substratets biologiska effektivitet (BE, %) bestämdes genom att den totala summan av fruktkroppar (friskvikt) som bildats jämfördes med den mängd substrat (torrvikt) som det producerats på.

$$\frac{\text{Mängd producerad svamp (friskvikt)}}{\text{Mängd substrat (torrvikt)}} \times 100 = BE (\%)$$

Biologisk effektivitet är en standardparameter inom svampodling och är ett sätt att ange hur bra substratet är för att odla svamp på (Stamets 2000).

3.2.3 Försöksuppställning samt analyser

Försöket där fruktkroppsproduktionen studerats genomfördes med 5 behandlingar enligt tabell 1. Varje behandling bestod av 4 replikat. Förhållandet mellan beståndsdelarna i substratet kan ses i tabell 2. Odlingen följdes över tid för att se om mycelets kolonisering skiljde sig åt mellan behandlingarna. Detta dokumenterades genom fotografering. Tid när primordier syns respektive när fruktkroppar skördas dokumenteras. Friskvikt och torrvikt av de skördade fruktkropparna bestäms.

Tabell 1. De behandlingar som genomförts under arbetet kring fruktkroppsproduktion. Biokol 1 motsvarar den gjord av halm och fröskal samt biokol 2 den av slam.

Behandling	Biokol (%)	Biokol (sort)
K (kontroll)	0	
A	5	Biokol 1
B	10	Biokol 1
C	5	Biokol 2
D	10	Biokol 2

Tabell 2. De olika beståndsdelarna i substratet.

Behandling	Biokol (%)	Biokol (sort)	Björkspån (%)	Vetekli (%)
K (kontroll)	0		75	25
A	5	Biokol 1	71.25	23.75
B	10	Biokol 1	67.5	22.5
C	5	Biokol 2	71.25	23.75
D	10	Biokol 2	67.5	22.5

4. Resultat

4.1 Laborativ studie

4.1.1 Myceltillväxt

Två kontroller användes när myceltillväxten följdes för att se om det fanns något behov av att tillsätta kalciumkarbonat till odlingssubstratet. Detta ämne höjer dock pH något, precis som biokol. I kontroll 1 var pH 6.0 och inblandning av kalciumkarbonat gav ett något högre pH på 6.5 i kontroll 2. I ett av replikaten av kontroll 2 sågs ett något tunnare mycel än de två övriga. Eftersom ingen tydlig fördel sågs av att ha inblandning av kalciumkarbonat så baserades försöken kring fruktkropps bildning på det substrat som använts i kontroll 1.

De två biokolssorterna påverkade pH olika och biokol 1 gav ett högre pH än biokol 2 (Tabell 3). I försöken med tillväxt av *P. ostreatus* i agarskål sågs en påverkan av biokol 1 vid en koncentration av 25%. Vid denna koncentration var mycelet något glesare på två av replikaten medan däremot inte diametern var påverkad. Vid 40% inblandning av biokol 1 var mycelet både glesare och växte sämre. För de två lägsta koncentrationerna (5 och 10%) växte mycelet något snabbare. För biokol 2 sågs på samma sätt som för biokol 1 ett glest mycel vid de två högsta koncentrationerna. Jämfört med kontrollerna sågs en minskad tillväxt redan vid 5% inblandning av biokol 2. När koncentrationen av biokol 2 ökades sågs inte ytterligare tillväxthämning utan mycelet växte snarare bättre. Om man ser till det pH som fanns i kontrollerna, 6.0 och 6.5, avvek inte pH i de substrat som berikats med upp till 25% av biokolen speciellt mycket.

Tabell 3. Effekt av biokol på tillväxt av *Pleurotus ostreatus* vid odling i petriskål. Även pH på substraten presenteras. Diametern presenteras som medelvärde±standardavvikelse, n=3. + = tät, 0 = varken tät eller gles, - = gles.

Behandling	pH	Diameter (cm) dag 4	Diameter (cm) dag 6	Mycel, täthet dag 6
Kontroll 1	6.0	3.7±0.1	5.1±0.1	+, +, +
Kontroll 2	6.5	3.9±0.3	5.0±0.2	+, +, 0
Biokol 1, 5%	6.1	4.0±0.2	5.5±0.2	+, +, +
Biokol 1, 10%	6.1	3.8±0.3	5.7±0.3	+, +, +
Biokol 1, 15%	6.3	3.5±0.2	5.1±0.4	+, +, +
Biokol 1, 25%	6.8	3.6±0.2	5.0±0.8	+, -, -
Biokol 1, 40%	7.7	2.6±1.0	4.5±1.4	-, -, -
Biokol 2, 5%	5.9	2.2±0.4	3.6±0.7	+, +, +
Biokol 2, 10%	5.8	2.8±0.6	4.5±0.5	+, +, +
Biokol 2, 15%	5.8	3.0±0.3	4.4±0.4	+, +, +
Biokol 2, 25%	5.8	3.1±0.1	4.3±0.2	-, -, -
Biokol 2, 40%	6.1	3.0±0.5	4.2±0.5	-, -, -

De två lägsta koncentrationerna av biokol, 5 % och 10%, valdes för att undersöka påverkan på fruktkroppsbildningen.

4.1.2 Fruktkroppsbildning

Resultaten visar att fruktkroppsbildningen påverkades vid tillsats av biokol (Tabell 3). För kontrollen sågs en produktion av fruktkroppar i varje replikat. För de replikat där biokol blandats in i 5% sågs fruktkroppar i två av de fyra replikaten (biokol 1) samt i tre av replikaten (biokol 2). När biokol blandats in i högre koncentration (10%) kom det bara fruktkroppar i ett av fyra replikat för båda biokolen.

I Fig. 7 ses en bildserie av bildandet av primordia till färdiga fruktkroppar. Fruktkropparna hade en något elongerad stam vilket indikerar att koldioxidhalten var något för hög under odlingen.



Figur 7. Tre bilder av de olika stegen i fruktkroppsbildningen hos *P. ostreatus* (Lilja Bergquist).

Den biologiska effektiviteten, dvs kvoten mellan friskvikt svamp och torrsvikt substrat, beräknades separat för varje replikat där det skett fruktkroppsproduktion. Detta värde var högst för kontrollsubstratet där BE blev ca 36%. I de substrat där biokol blandats in var BE lägre, mellan 25–28%, och ingen tydlig skillnad sågs i förhållande till koncentrationen av biokol. De första fruktkropparna skördades dag 34. Större delen av alla fruktkropparna skördades mellan dag 34–38. För kontrollen var det ett replikat som skördades dag 47.

Tabell 4. Fruktkroppsproduktion av ostronskivling (*P. ostreatus*) när den odlats på substrat med olika mängd biokol.

Behandling	Antal replikat med fruktkroppar	Total skörd (g)	Biologisk effektivitet (%)	Skörd (dag från start)
Kontroll 1	4 av 4	277.2	35.9	34 (2 rep), 38 (1 rep), 47 (1 rep)
Biokol 1, 5%	2 av 4	101.3	26.2	34 (2 rep)
Biokol 1, 10%	1 av 4	54.2	28.0	34 (1 rep)
Biokol 2, 5%	3 av 4	151.6	26.1	34 (3 rep)
Biokol 2, 10%	1 av 4	48.3	25.0	38 (1 rep)

5. Diskussion

Syftet med litteraturstudien och försöket var att ta reda på hur biokol kan användas i substrat för odling av matsvampar. De svampar som testodlats i de studier som tagits del av är *P. ostreatus*, *P. eryngii*, *T. versicolor*. Där biokolets användningsområde främst har varit som tillsats i substratet för att öka myceltillväxt och fruktbildning. Halterna har varierat mellan 0.2–8.6 % av substratets vikt. I ett av försöken, där halten var 4 och 6 % kunde forskarna se att tillväxten hämmades något. I ett annat försök där halterna var så höga som 5.7 % och 8.6 % hade det en positiv effekt på tillväxten. I de olika försöken har halten biokol i förhållande till substrat angetts i antingen frisk- eller torrsvikt. Frisksvikt är substratets vikt med den del vatten som finns naturligt i den levande växt delen. Torrsvikt bestäms efter torkning under kontrollerade förhållanden efter minskning i vikt har upphört. Beräkningar har gjorts för att få fram den ungefärliga torrsvikten när det är frisksvikt som ursprungligen angetts för att kunna jämföras med vårt försök.

Biokolens effekt i odling

I studierna som visade på en viss positiv effekt av tillsättandet av biokol vid relativt låga koncentrationer skulle det kunna bero på den ökade fukthalten i substratet, vilket gynnar myceltillväxt. Den negativa effekten vid högre halter skulle kunna bero på att substratets kemiska och fysikaliska egenskaper förändras, att näringsinnehållet ändras och att biokolet innehåller ämnen som hindrar tillväxten. Det går dock inte att göra någon generalisering utifrån detta då andra sorter av biokol visade sig ha en positiv effekt vid högre halter. Vilket för oss till att det kan vara stor skillnad på biokol och biokol. I flera av de tidigare utförda försöken med biokol och svampodling har biokolen som använts ofta varit tillverkad av redan använt svamps substrat. Biokolets egenskaper påverkas av vilket ursprungsmaterialet är och tillverkningsprocessen. Dock, ur svampens perspektiv har all biokol likheten att den inte tillför något organiskt kol. Generellt kan man säga att det har en god adsorptionsförmåga, kan öka katjonbyteskapaciteten, den tillgängliga näringen och den vattenhållande förmågan (Wu m.fl 2017). Vilket kan minska behovet av bevattning och tillsättning av annan näring i substratet, något som är positivt ur en miljösynpunkt. Litteratursökningen visade på att biokol är relativt lite studerat som ingrediens i ett svamps substrat.

I det praktiska försöket som genomfördes i detta arbete valdes biokolskoncentrationer baserat på effekten på mycelets tillväxt. Jämfört med de koncentrationer av biokol som har använts i de tidigare publicerade försöken skulle en slutsats kunna vara att halten varit något hög, vilket påverkade resultatet. Våra resultat visar tydligt en sämre fruktkroppsbildning när biokol inkluderades i substratet. I studierna av myceltillväxten sågs ingen negativ effekt av biokol 1 i koncentrationerna 5 och 10% medan för biokol 2 sågs en viss sänkning av tillväxten. Ett förväntat resultat hade därför kunnat vara att biokol 1 och 2 skiljde sig med avseende på effekten på fruktkroppsbildningen. Detta observerades inte utan istället sågs samma negativa effekt på fruktkroppsbildningen av båda biokolen. En möjlighet är att biokolens påverkan på svamp-tillväxt ska delas upp i två steg – biokolens har en typ av påverkan på mycelets tillväxt och en annan påverkan på fruktkroppsbildningen. Ett konkret exempel kan vara att biokolens förmåga att hålla vatten kan vara mycket positivt för svampen i ett visst steg. Samtidigt kommer biokolens att påverka substratets kemiska sammansättning med avseende på oorganiska ämnen. Obalanser här kan vara negativt i en process, exempelvis fruktkroppsbildningen.

Den litteratursökning som genomförts i detta arbete visade att det kan finnas positiva effekter av biokol på svampodling men att det är koncentrations- och sortberoende. Dock i de praktiska försöken genomförda i detta arbete sågs endast negativa effekter på fruktkroppsbildningen. Kanske att arbete kring biokol och svampodling i första hand ska fokusera på hur använt svampodlingssubstrat på ett optimalt sätt kan omvandlas till biokol och hur den biokolens kan användas? I många av studierna har biokolens man använt sig av till svampodlingen baserats på använt svampsubstrat (SMS). Vilket visar på att många har ett intresse av att skapa mer cirkularitet. 1 kg färdig svamp producerar 5 kg SMS, det är av stor vikt att detta återanvänds på ett effektivt sätt (Grimm & Wösten 2018). Några exempel på vad använt svampsubstrat kan användas till är att det kan myllas ner i odlingar för att ge näring och bättre struktur (Stamets 1993). Vid nermyllning kan det även minska risken för nematoder. Några sorter av ostronskivling producerar metaboliter som är toxiska för dessa. SMS från ostronskivling kan även användas till att odla svampen jättekragskivling (*Stropharia rugosoannulata*) och till att tillverka biokol, som i sin tur har många användningsområden (Sánchez 2009).

Användningsområden för biokol

Svampodling på restprodukter, användning av SMS samt användning och tillverkning av biokol skapar cirkulära system. Vilket är en del i att ta mer ansvar för utsläpp och skapa medvetenhet. Vilket i sin tur kan leda till mindre utsläpp och miljöpåverkan.

Biokol är ett relativt nytt material som det finns ett stort intresse kring. Detta intresse är till viss del motiverat av att biokol hjälper till att skapa cirkulära system och att det är en kolsänka (Mohan m.fl 2018). Det är en kolsänka genom att kolet i biokolen ursprungligen kommer från koldioxid från luften som tagits upp och lagrats i plantor under tillväxt. Den här kolen kan sedan lagras i marken. Detta gäller främst biokol med ett ursprung som växtmaterial. En risk med att använda biokol som kolsänka är att det är svårt att med säkerhet kunna bestämma exakt hur lång tiden för nedbrytning är (Kuppusamy m.fl 2016). Detta då det är något som påverkas av kolets ursprung, tillverkningsprocess, egenskaper samt hur förhållandena i jorden ser ut.

Idéer som med biokol som kolsänka är dock ingen lösning på problemet med stora utsläpp av växthusgaser utan endast en avlastning. Med tanke på den mängd restprodukter och avfall som skapas från diverse industrier skulle mängden biokol som skulle kunna tillverkas vara mycket stor. Ett av problemen är snarare vidden av vår konsumtion och allt den leder till. Att ta till vara på restprodukterna från exempelvis jordbruket och tillverka biokol är dock en mer hållbar lösning än att de eldas upp (Mohan m.fl 2018). Det kan även vara en fråga om kostnad då tillverkningen av biokol också har ett pris (Kuppusamy 2016).

Likt icke processat SMS kan även biokol användas i jorden som jordförbättrare. Där kan den öka tillväxten på grödor genom att erbjuda habitat för mikroorganismer, öka den vattenhållande förmågan samt mängden porer och gynna en god aggregatbildning (Mohan m.fl 2018). Det kan även användas för att korrigera pH-värdet i sura eller basiska jordar (Hossain m.fl 2011).

Det finns potentiellt negativa effekter med användning av biokol som jordförbättring. Nerblandning av biokol i jorden kan störa mikroorganismerna samt förändra jordens fysikaliska egenskaper (Kuppusamy m.fl 2016). Detta genom att ändra fukthalten, förändra tillgängligheten av mikronäringsämnen samt ändra pH-värdet (Lehmann m.fl 2011). Motsatsen - att biokol kan öka den mikrobiella aktiviteten har också visats (Lehmann m.fl (2011)). Det som kan konstateras är att olika grupper av mikroliv påverkas på olika sätt. Det är många faktorer som spelar in i form av egenskaper hos biokolen och jorden.

Ytterligare ett användningsområde är att biokol kan rena vatten från kontaminerande ämnen som tungmetaller och föroreningar genom adsorption (Zhang m.fl 2020). Vilket är positivt men när eller om denna kol används som jordförbättring blir dessa ämnen otillgängliga för mikroorganismerna i marken att ta hand om och bryta ner. Vilket gör att de lagras i marken och riskerar att i framtiden eventuellt orsaka problem (Kuppusamy m.fl 2016). Biokol adsorberar

inte endast kontaminerande ämnen utan även de som är fördelaktiga för växterna, som kväve (Kuppusamy m.fl 2016). Vilket kan förändra näringsprofilen och göra att man kan behöva använda mer gödningsmedel, vilket i sin tur ger en ökad kostnad av att applicera både mer gödning samt biokol. Har det dock tillförts näring till biokol innan applikation kan det bidra till en minskad urlakning och jämn tillförsel. Biokol kan även absorbera herbicider och insekticider (Kuppusamy 2016). Det kan göra att doserna som behöver appliceras är högre, vilket får ekonomiska konsekvenser. En positiv aspekt av det är dock att mängden rester av insekticider och herbicider kan minska i de färdiga grödorna.

En slutsats kring användningen av biokol i exempelvis jordbruket är att det är viktigt att veta var biokolen kommer från. Samt vad den är tillverkad av och hur för att känna till egenskaper och potentiella användningsområden. Även egenskaperna hos jorden är av vikt. När vi tillsätter någonting till ett naturligt system behöver vi vara medvetna om att det kan finnas både för- och nackdelar, nackdelar som inte alltid syns direkt. Är det exempelvis en jord med ett högt pH-värde som behöver sänkas är det inte fördelaktigt att tillsätta en basisk biokol som förhöjer detta ytterligare (Hossain m.fl 2011).

Slutsatser

Det krävs fler studier i användandet av biokol som odlingssubstrat för svampodling. Kanske med fokus på egenskaper hos biokolen för att finna rätt parametrar och koncentration som har en positiv effekt på tillväxten. Ett mer relevant ämne är kanske att undersöka hur SMS kan omvandlas till biokol och användningsområden för denna. Vid upprepning av försöket föreslås lägre koncentrationer och större mängd substrat per box alternativt större lådor. Då den något lilla mängden substrat per box skapar sämre förutsättningar för svampen och kan ge mindre fruktkropps bildning. Som sett på bilderna av fruktkropparna (fig. 7) hade de en något elongerad stam, vilket indikerar att alla odlingsparametrar inte stod helt rätt till. Detta är kanske något som skulle kunna undersökas vidare i upprepade försök. För att undersöka om vilka odlingsparametrar som är optimala skiljer sig åt mellan svampodling med eller utan biokol.

Även om varken biokol eller svampodling löser alla problem kring framtidens matförsörjning är det en av alla små pusselbitar i att skapa mer hållbarhet i samhället. Detta görs genom att återanvända, ta tillvara restprodukter och hitta nya användningsområden för dessa. Odling av svamp kan både ta tillvara och omvandla restprodukter och skapa ett värde hos dessa (Grimm & Wösten 2018). Att använda svamp är något vi människor har gjort i tusentals år, mycket av kunskapen från förr har kanske inte bevarats. Kanske finns det något där ute eller en av alla de svampar vi ännu inte upptäckt som kan ge oss ytterligare en nyckel.

Referenser

- Balan, V., Zhu, W., Krishnamoorthy, H., Benhaddou, D., Mowrer, J., Husain, H., Eskandari, A. (2022). Challenges and opportunities in producing high-quality edible mushrooms from lignocellulosic biomass in a small scale. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 106, 1355–1374.
- Bellettini, M.B., Fiorda, F.A., Maieves, H.A., Teixeira, G.L., Ávila, S., Hornung, P.S., Júnior A.M., Ribani, R.H. (2019). Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26 (4), 633-646.
- Cha, J.S., Park, S.H., Jung, S.C., Ryu, S., Jeon, J.K., Shin, M-C., Young-Kwon Park, Y-K. (2016). Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 40, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- Chang, S.T., Miles P.G. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. 2:a upplagan, Florida: CRC Press LLC.
- El-Naggar, A. Lee, S.S., Rinklebe, J., Muhammad, F., Song, H., Sarmah, A.K., Zimmerman, A.R., Ahmad, M., Shaheen, S.M., Ok, Y.S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*. 337, 536–554. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.034>
- Fayssal, S.A., Sebaaly, Z.E., Sassine, Y.N., (2023). *Pleurotus ostreatus* Grown on Agro-Industrial Residues: Studies on Microbial Contamination and Shelf-Life Prediction under Different Packaging Types and Storage Temperatures. *Foods*. 12 (3), 524. doi: 10.3390/foods12030524
- Grimm, D., Wösten, H. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*. DOI:10.1007/s00253-018-9226-8
- Grocycle (2023). How to sterilize mushroom substrate: a step-by-step guide. <https://grocycle.com/how-to-sterilize-mushroom-substrate/> [2023-08-03]
- Hawksworth, D.L., Lücking, R. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiol Spectr*. 5 (4). doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
- Holmberg, P. & Marklund, H. (2014). *Nya svampboken*. Stockholm: Norstedts.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., Nelson, P.F. (2011). Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management*. 92, 223–228. doi:10.1016/j.jenvman.2010.09.008
- Hu, W., Di, Q., Liang, T., Liu, L., Zhang, J. (2022). Effects of spent mushroom substrate biochar on growth of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Environmental Technology & Innovation*. 28. doi.org/10.1016/j.eti.2022.102729
- ICCP (2023). AR6 Synthesis Report Climate Change 2023. IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

- Kumla, J., Suwannarach, N., Sujarit, K., Penkhrue, W., Kakumyan, P., Jatuwong, K., Vadthananat, S., Lumyong, S. (2020). Cultivation of Mushrooms and Their Lignocellulolytic Enzyme Production Through the Utilization of Agro-Industrial Waste. *Molecules*. 25 (12). DOI:10.3390/molecules25122811
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., Naidu, R. (2016). Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: Current knowledge and future research directions. *Environmental International*. 87, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.018>
- Lam, S.S., Lee, X.Y., Nam, W.L., Phang, X.Y., Liew, R.K., Yek, P.N., Ma, N.L., Rosli, M.H. (2018). Microwave vacuum pyrolysis conversion of waste mushroom substrate into biochar for use as growth medium in mushroom cultivation. Society of Chemical Industry. DOI 10.1002/jctb.5897
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology & Biochemistry*. 43, 1812-1836. doi:10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- Liang, C-H., Wu, C-Y., Lu P-L., Kuo, Y-C., Liang, Z-C. (2019). Biological efficiency and nutritional value of the culinary-medicinal mushroom *Auricularia* cultivated on a sawdust basal substrate supplement with different proportions of grass plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26 (2), 263–269.
- Livsmedelsverket (2013). *Grönsaker och rotfrukter – analys av näringsämnen*. (Livsmedelsverkets rapportserienummer 10/2013).
- Mahari, W.A.W., Nam, W.L., Sonne, C., Peng, W., Phang, X.Y., Liew, R.K., Yek, P.N.Y., Lee, X.Y., Wen, O.W., Show, P.L., Chen, W-H., Chang, J-S., Lam, S.S. (2020). Applying microwave vacuum pyrolysis to design moisture retention and pH neutralizing palm kernel shell biochar for mushroom production. *Bioresource Technology*. 312. doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123572
- Manan, S., Ullah, M.W., Ul-Islam, M., Atta, O.M., Yang, G. (2021). Synthesis and applications of fungal mycelium-based advanced functional materials. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 6 (1), 1-10 <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.01.001>
- Mossberg, B., Karström, M., Nilsson, S., & Persson, O. (2021). Svampar i Sverige. 9: onde utgåvan, 4:e tryckningen, Lettland: Bonnier Fakta.
- Mohan, D., Abihishek, K., Sarswat, A., Patel, M., Singh, P., Pittman, Jr C.U. (2018). Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration – a sustainable solution and crop-residue burning in India. *RSC Advances*. 1. <https://doi.org/10.1039/C7RA10353K>
- Mäkelä, M.R., Hildén, K.S., Kuuskeri, J. (2021). Fungal Lignin-Modifying Peroxidases and H₂O₂-Producing Enzymes. *Encyclopedia of Mycology*. 2, 247–259.
- Nam, W.L., Phang, X.Y., Su, M.H., Liew, R.K., Ma, N.L., Rosli, M.H.N.B., Lam, S.S. (2018). Production of bio-fertilizer from microwave vacuum pyrolysis of palm kernel shell for cultivation of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Science of The Total Environment*. 624, 9–16.

- Nationalencyklopedin (2023) *Basidsvampar*.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/basidsvampar> [2023-08-05]
- Pathak, R., Joshi, N., Dwivedi, R.R. (2009). Eco-friendly Production of *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach (White Button Mushroom). *Nature and Science*. 7 (6).
- Raman, J., Jang, K-Y., Oh, Y-L., Oh, M., Im, J-H., Lakshmanan, H., Sabaratnam, V. (2021). Cultivation and Nutritional Value of Prominent *Pleurotus* spp.: An Overview. *Mycobiology*. 49 (1), 1–14.
- Redman, R.S., Dunigan, D., Rodriguez, R.J. (2001). Fungal symbiosis from mutualism to parasitism: who controls the outcome, host or invader? *New Phytologist*. 151 (3), 705–716.
- Sánchez, C (2009). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 85, 1321–1337.
- SIS (2012). Slam, behandlat bioavfall och mark – Bestämning av pH (SS-EN 15933:2012). Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- Skånefrö (2023). *Biokol 3 l*. <https://skanefro.se/shop/alla/proffs-anlaggare/biokol-proffs-anlaggare/biokol-3-l/> [2023-08-24]
- Stamets, P. (1993). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*. Berkeley: Ten Speed Press. 1:a upplagan.
- Stamets, P. (2000). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms*. USA: Ten Speed Press. 3:e upplagan.
- Statista (2023). *Total production of mushrooms and truffles worldwide from 2021 to 2021 (in million metric tons)*. <https://www.statista.com/statistics/1018488/global-mushrooms-and-truffles-production/> [2023-08-06]
- Taskin, E., Branà, M.T., Altomare, C., Loffredo, E. (2019). Biochar and hydrochar from waste biomass promote the growth and enzyme activity of soil-resident ligninolytic fungi. *Heliyo*. 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02051>
- Vaughn, S.F., Thompson, A.R., Kenar, J.A., Peterson, S.C. (2013). Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacement for peat in potting substrates. *Industrial Crops and products*. 51, 437-443. 10.1016/j.indcrop.2013.10.010
- Wang, J., Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production*. 227, 1002-1022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wu, S., He, H., Inthapanaya, X., Yang, C., Lu, L., Zeng, G., Han, Z. (2017). Role of biochar on composting of organic wastes and remediation of contaminated soils—a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 24, 16560–16577. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9168-1>
- Zhang, G., Liu, N., Lou, Y., Zhang, H., Su, L., Oh, K., Cheng, H. (2020). Efficient Removal of Cu(II), Zn(II), and Cd(II) from Aqueous Solutions by a Mineral-Rich Biochar Derived from a Spent Mushroom (*Agaricus bisporus*) Substrate. *Adsorbents and Their Applications*. 14 (1). <https://doi.org/10.3390/ma14010035>
- Zhang, G., Guo, X., Zhu, Y., Liu, X., Han, Z., Sun, K., Ji, L., He, Q., Han, L. (2018). The effects of different biochars on microbial quantity, microbial community shift,

enzyme activity, and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. *Geoderma*. 328, 100–108.

Tack

Jag vill tacka min familj samt mina nära och kära som har ställt upp och korrekturläst, kommit med idéer och stöttat mig genom processen att få fram detta arbete. Jag vill även tacka min handledare Malin och examinator Lotta som kommit med förslag och sett till att arbetet gått framåt.

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.