



Masterplan Voeding

Water en Voeding voor Champignons: Kansen en noodzaak voor Innovatie

Anton S.M. Sonnenberg¹, Gerben Straatsma², Anne Elings³, Leo Marcelis³ en Jos Amsing⁴

- 1 WUR Plant Breeding
- 2 WUR LSG Aquatische Ecologie
- 3 WUR Glastuinbouw
- 4 DLV Plant

© 2008 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 – 48 60 01
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

zet de cursor hier neer en laat Word dan een Table of Contents maken,
(met het format from template)

1. Inleiding: “Waarom Innovatie In Voeding voor Champignons?”

Jarenlang is de Nederlandse Champignonsector toonaangevend geweest in de wereld. De positie als grootste producent in Europa, derde in de wereld en wereldwijd de grootste exporteur van champignon is behaald door innovatie en samenwerking. Daar hebben de coöperatieve organisatie, de overheid, onderzoek, een goede opleiding van telers en voorlichting een belangrijke rol gespeeld. De laatste jaren is de rentabiliteit van de bedrijven echter gedaald. Door schaalvergroting zijn de kosten gereduceerd. Innovaties zijn beperkt gebleven tot automatisering die samengaan met schaalvergroting. Door de vermindering van het aantal en de groei in omvang van bedrijven is samenwerking om tot innovaties te komen bemoeilijkt. Door het uitblijven van innovaties hebben andere landen intussen ook het niveau van Nederland behaald en door de lagere loonkosten elders is de comfortabele positie van Nederland verdwenen. Een nieuwe impuls aan innovaties kan de positie van de Nederlandsche paddenstoelensector weer verbeteren. Vooral innovatie op gebied van voeding voor champignons (substraat) kan de productie aanzienlijk efficiënter en betrouwbaarder maken.

Champignons worden nu geteeld op compost die bestaat uit stro-rijke paardenmest, kippenmest, gips en water. Voordelen van deze ingrediënten zijn dat ze tot nu toe voldoende aanwezig zijn tegen lage kosten. Het composteringsproces is op zich een redelijk goed beheersbaar proces met een redelijk voorspelbare uitkomst. Er zijn echter voldoende redenen aan te voeren waarom innovatie op substraat kansen biedt voor het versterken van de Nederlandse concurrentiepositie:

- **Kosten.** De substraatkosten kunnen, afhankelijk van het type teelt, oplopen tot 30 à 40% van de productiekosten van champignons. Aangezien de grondstoffen waarmee compost gemaakt wordt ook duurder worden (i.e. stro) zullen deze kosten waarschijnlijk gaan oplopen. Innoveren in substraat zal dus een grote impact hebben op de rentabiliteit van het productieproces.
- **Kwaliteit.** De opbrengst en kwaliteit van champignons hangt sterk af van de kwaliteit van de compost. Hoewel het productieproces voor compost redelijk goed gestandaardiseerd is, komen nogal eens wisselingen in compostkwaliteit voor met nadelige gevolgen voor de teler. Daarnaast speelt de laatste tijd met enige regelmaat het probleem “groene schimmels” op die via doorgroeide compost bij telers terecht komen. Dit probleem veroorzaakt een flinke oogstreductie. Innoveren om tot een voorspelbare en controleerbare kwaliteit van de voedingsbodem te komen zal de bedrijfszekerheid en dus rentabiliteit van de bedrijven verhogen.
- **Benutting.** Van de huidige compost wordt ca. 35-40% van de voeding gebruikt in 2 à 3 vluchten. Dat is laag als naar de kosten van het substraat wordt gekeken. Een verhoging van de benutting (biologische efficiëntie) zal dus ook een behoorlijk effect hebben op de productiekosten, de afvoerkosten van champost en de transportkosten. Experimenten hebben laten zien dat de champignon wel in staat is om meer uit het substraat te halen maar dat niet doet in het huidige teeltsysteem. Systeeminnovatie biedt hier dus kansen.
- **Stuurbaarheid tijdens Teelt.** De compost verandert gedurende de teelt van structuur. Ook veranderen de pH, de beschikbaarheid van water en voedingsstoffen. Al deze veranderingen zijn geen veranderingen ten goede. In het huidige systeem zijn er nauwelijks mogelijkheden om dit bij te sturen. Systeeminnovatie die leidt tot de mogelijkheid tot bijsturen zal de benutting van het substraat sterk verbeteren en dus de productiekosten verlagen.
- **Kwetsbaarheid.** Voor de huidige compost wordt dierlijke mest gebruikt (paarden- en kippenmest). Wanneer dierziekten uitbreken mag in Nederland geen transport meer plaatsvinden van mest. Het is de vraag of de compostproducenten voldoende zijn voorbereid op een dergelijke calamiteit. Het gebruik van gedefinieerde voedingsstoffen maakt de sector onafhankelijk van de beschikbaarheid van dierlijke mest en kan de bedrijfszekerheid verhogen.
- **Champost.** Omdat er voor de bereiding van compost dierlijke mest gebruikt is wordt de afgewerkte compost (champost) beschouwd als dierlijke mest. Champost moet daarom concurreren op een overvolle mestmarkt. Het kost nu geld om de champost af te voeren. Het efficiënter gebruiken van de compost zal de afvalstroom verminderen. Het gebruik van andere, gedefinieerde voedingsstoffen kan dit probleem zelfs voor het grootste deel oplossen.

2. Masterplan Voeding

Vergeleken met planten groeien champignons onder zéér gecontroleerde omstandigheden waarbij temperatuur, CO₂ en RV gedurende een teeltcyclus nauwkeurig geregeld dienen te worden voor een optimaal resultaat. Daarnaast speelt de kwaliteit van het substraat een belangrijke rol. Dat wil zeggen dat bekend is dat compost een invloed heeft op de productie en kwaliteit van champignons maar dat niet goed bekend is waaraan de compost dan wel moet voldoen om een optimaal resultaat te garanderen. Vergeleken met planten zijn de champignons ook nog eens kwetsbare producten. De houdbaarheid is kort en witte champignons zijn gevoelig voor kneuzing. Naast een effect op de opbrengst en kwaliteit kan de compost ook een effect hebben op het tijdstip waarop geoogst moet worden voor een maximale kwaliteit en kan daardoor een afwijking veroorzaken in de geplande bedrijfsvoering en problemen met een afnemer veroorzaken. Het ligt dan ook voor de hand om te concluderen dat kennis over voedingsbehoefte van champignons en het controleren van deze voeding in de teeltcyclus enorm belangrijk zijn en het toepassen van deze kennis in systeeminnovatie een impact zal hebben op kosten en bedrijfszekerheid in de champignonteelt.

De doelstelling van dit Masterplan is om tot een samenhangend pakket projecten te komen die in eerste instantie tot doel hebben kennis te genereren. Deze kennis kan vervolgens worden toegepast voor technische oplossingen: het ontwikkelen van productiesystemen waarbij de substraatkosten een substantieel lager deel uitmaken van de huidige productiekosten en waarbij het systeem de volgende kenmerken heeft:

- Flexibele voeding die afgestemd kan worden op verschillen in behoefte tijdens de teeltcyclus
- Een betrouwbaar systeem waarin de kwaliteit van de voeding zo goed mogelijk gegarandeerd kan worden
- Een optimale benutting van de voeding zodat er een minimum aan afval is na een productiecyclus

De huidige compost vormt een complexe omgeving waarin het lastig is om de kennis te genereren die nodig is om tot innovatie in voeding te komen. Veel factoren vertonen een interactie in de compost zoals waterpotentiaal en beschikbaarheid voedingsstoffen, pH en structuur. Daar bovenop blijken deze factoren ook nog te verschillen in de verschillende lagen van de compost. In het Masterplan wordt daarom voorgesteld om in eerste instantie aan een modelsysteem op kleinere schaal te werken. Dit kan een model zijn waarin een inerte drager wordt gebruikt waaraan opgeloste voedingsstoffen worden toegediend en waarin de aard en concentratie van voedingsstoffen gedurende een teeltcyclus kan worden gevarieerd. Het kan ook een model zijn waarin nog wel compost wordt gebruikt maar dan op een zodanige manier dat makkelijker water en voeding kan worden toegediend. Deze kennis kan gebruikt worden om het huidige substraat te verbeteren en kan op den duur leiden tot de ontwikkeling van een alternatief systeem voor de huidige compost.

3. Beschikbare Kennis: Eerder en Lopend Onderzoek

Eerder onderzoek gedaan door PPO Paddenstoelen en door anderen geeft een fragmentarisch en onvolkomen beeld van de groei en ontwikkeling van champignonmycelium en paddenstoelen. Veel vragen zijn onbeantwoord gebleven. Deels zal dat komen door een beperkte input aan onderzoek als dat vergeleken wordt met wat aan planten is gedaan. Anderzijds heeft het ook te maken met de complexiteit van een saprotroof organisme dat alle voedingsstoffen via afbraak van complexe substraten moet genereren, deze transporteren naar een omgeving die geschikt is voor vruchtlichaamvorming en waarbij allerlei omgevingsfactoren hun invloed kunnen uitoefenen op het functioneren van het hele systeem. Terwijl het transport van water en voedingsstoffen bij planten goed is bestudeerd, is hierover weinig tot niets bekend bij schimmels. Afbraak van vaste stoffen door schimmels (solid state fermentation) is een zéér complex gebeuren waarin modellen een nog onvolledig beeld geven over welke processen een rol spelen bij afbraak en transport (Rahardjo et al., 2004; zie schematisch model in bijlage.1.). Wat weten we op dit moment van de groei en ontwikkeling van champignons en waar zitten de gaten in onze kennis? De feiten kort op een rij:

De groeisnelheid van mycelium en paddenstoelen

Straatsma en anderen hebben de maximale groeisnelheid bepaald van ongedifferentieerd champignonmycelium. Onder optimale omstandigheden kan het mycelium zich verdubbelen in 0,8 dag. Bij uitgroeiende champignons is gemeten dat de biomassa toeneemt met een zelfde snelheid: een verdubbeling in gewicht per 0,8 dag. Aangezien de uitgroei van champignons voornamelijk wordt veroorzaakt door zich vermeerderend mycelium in de champignon is deze overeenkomst niet verrassend. De exponentiële toename vlakt ca. 12 dagen na het afventileren af tot een toename van 96 kg in biomassa per dag per ton compost totdat ca 400 kg champignons per ton compost zijn bereikt. De "verdubbeling in 0,8 dag" is een maximum op het huidige substraat en geldt dus als gegeven. Hoewel niet bekend is of er geen substraten zijn waarop de groei beter zal zijn, is het waarschijnlijk dat de gemeten groeisnelheid inderdaad het maximale is dat het cellulaire metabolisme aan kan. Onderzoek gericht op een snellere groei en productie lijkt dus weinig zin te hebben.

Het afvlakken ca. 12 dagen na afventileren heeft naar alle waarschijnlijkheid te maken met het feit dat dan de maximale capaciteit van voedingaanvoer is bereikt. Feit is dat het afvlakken van de toename in gewicht samenvalt met het vliezen van de champignon. Dat suggereert dat er op dat moment een correlatie is tussen het afrijpen van champignons en een beperking in aanvoer van voeding. In eerdere en een lopend PT project hebben we geprobeerd om aanwijzingen te vinden voor tekorten door de verandering in concentratie in de tijd te meten (Rapporten 2006-1 en 2008-5). In het eerste project (Rapport 2006-1) is vastgesteld dat in uitgroeiende champignons de gehalten N, P, Ca en Mn teruglopen (gebaseerd op droge stof gehalte). In een vervolproject is besloten om dezelfde metingen ook in compost uit te voeren. Getracht werd te achterhalen of het teruglopen van mineraalgehalten in de champignons vanuit de compost te verklaren is. Gebleken is dat alleen bij P een duidelijke afname in de beschikbaarheid is vastgesteld die de afname in dezelfde periode in de champignon kan verklaren. De andere componenten veranderden niet significant. Wat uit het project vooral naar voren kwam is dat compost een erg complex substraat is waarin veel interacties plaatsvinden zoals tussen waterbeschikbaarheid en voeding en tussen oplosbaarheid van stoffen en pH. Al deze factoren veranderen in de tijd en deze veranderingen vinden ook nog eens niet homogeen in de compost plaats. Eerder onderzoek heeft ook aangetoond dat er vooral veel verschillen zijn tussen de bovenste eenderde en de onderste eenderde laag van de 20 cm dikke compostlaag.

Afbraak van substraat en transport van voeding

Er zijn een reeks enzymen bekend die het champignonmycelium aanmaakt om de compost af te breken. Van de enzymen die betrokken zijn bij de afbraak van koolstof weten we het meest. Gedurende de kolonisatie zijn o.a. de enzymen laccase en Mn peroxidase erg actief. Deze enzymen spelen een rol bij de afbraak van lignine en humuscomplexen en maken daardoor (hemi)cellulose vrij. Een reeks (hemi)cellulasen breekt dit vervolgens af tot suikers die door het mycelium wordt opgenomen. De werking van de bekende enzymen en de expressie van de

betrokken genen is gedeeltelijk bestudeerd op labschaal. Van deze enzymen weten we welke substraten ze kunnen afbreken en door welke afbraakproducten de aanmaak van de enzymen worden geremd. Zo worden b.v. de aanmaak van cellulasen geremd door de toevoeging van glucose aan het medium. Verschillende suikers blijken elk de aanmaak van meerdere (hemi)cellulasen te remmen. Dit is dus een efficiënt systeem dat er voor zorgt dat alleen enzymen aangemaakt worden als daar een reden voor is. Aangezien de champignon op meerdere typen suikers kan groeien, is de aanwezigheid van deze suikers reden om geen polymeren af te breken. Kristallijn cellulose speelt een belangrijke rol in de compost. Alleen de kristallijne vorm induceert de aanmaak van een reeks enzymen die (hemi)cellulose afbreken en niet de opgeloste vorm van cellulose. Een aantal enzymen die polymeren afbreken die aan cellulose vastzitten (hemicellulosen) blijken een bindingplaats te hebben voor cellulose. Ze gaan dus zichtbaar op de cellulose zitten om de daaraan hangende hemicellulose te kunnen afbreken. Hoewel de aanmaak van al deze enzymen wordt geïnduceerd door het substraat dat ze aanmaken is de aanmaak veel sterker als compost als geheel wordt aangeboden. Blijkbaar bevat compost additionele componenten die hiervoor verantwoordelijk zijn. De genoemde enzymen zijn waarschijnlijk wel de belangrijkste maar niet de enige enzymen die betrokken zijn bij de koolstofcyclus. Van deze andere enzymen weten we nog weinig tot niets.

Terwijl het plantmateriaal in de compost voornamelijk gebruikt wordt als koolstofbron wordt biomassa (bacteriën, actinomyceten en thermofiele schimmels) vooral gebruikt als stikstofbron. Ook bijvoedmateriaal wordt als stikstofbron gebruikt. Een reeks van enzymen die hiervoor gebruikt kunnen worden zijn aangetoond in het champignonmycelium. Terwijl glucose de vorm is waarin de champignon koolstof opneemt zijn aminozuren en gedeeltelijk ammonium de vormen waarin stikstof wordt opgenomen. Savoie (1998) heeft voor een aantal enzymen de activiteiten gemeten gedurende de kolonisatie van de compost en gedurende de knopvorming. Laccase, Mn peroxidase en protease activiteiten groeien vrijwel parallel met de toename van het mycelium in de doorgroefase. Enzymen die (hemi)cellulose afbreken zijn goed meetbaar gedurende de eerste 7 tot 10 dagen en dan nemen deze activiteiten af. Enzymen die betrokken zijn bij afbraak van bacteriën en actinomyceten zijn hoog in de eerste 7 tot 10 dagen en nemen dan af. De beste manier om deze resultaten te interpreteren is door aan te nemen dat de aanwezige microbiële organismen in entbare compost in staat zijn om (hemi)cellulose af te breken en om te zetten in suikers. Het champignon mycelium zal, na enten, gaan groeien en deze bacteriepopulatie verdrijven. Daarom zakt de enzymactiviteit van (hemi)cellulose afbrekende enzymen. De champignon kan misschien zelf ook groeien op de suikers die deze bacteriën produceren of de champignon breekt zelf in het begin ook (hemi)cellulose af om zijn eigen groei op gang te brengen. Feit is dat na de periode van 7-10 dagen vooral laccasen, Mn peroxidasen en proteasen actief zijn die voor een groot deel betrokken zijn bij het "vrijmaken" van (hemi)cellulose en minder bij het gebruik ervan zodat het substraat wordt voorbereid op de periode dat er snel veel suikers geleverd moeten worden tijdens de productie van champignons.

Hoe water en voeding door het mycelium wordt opgenomen en getransporteerd naar de groeiende paddenstoelen is ook niet precies bekend. Metingen suggereren dat de voornaamste drijvende kracht voor opname en transport gevormd wordt door osmotische verschillen tussen het mycelium en het omringende substraat en osmotische verschillen tussen het substraatmycelium en de paddenstoelen. De paddenstoelen maken grote hoeveelheden mannitol aan die de osmotische waarde in de paddenstoelen verhoogt en daardoor een waterzuigende werking heeft op het substraatmycelium. In deze stroom worden opgeloste voedingsstoffen meegenomen. Het verhogen van de zoutconcentratie in de dekaarde leidt bijvoorbeeld tot een hogere productie van mannitol in de paddenstoelen om de aanzuigende werking van water door het zout te overwinnen. Daarnaast speelt waarschijnlijk de disaccharide trehalose ook nog een rol in het transport van koolstof vanuit het mycelium naar de paddenstoelen bij de knopvorming. Conclusie is dat de champignon een reeks van enzymsystemen bezit om complexe substraten die in de compost voorkomen af te breken tot kleine moleculen. Deze kunnen door het mycelium worden opgenomen en gebruikt om energie te leveren (verbranding) en om biomassa te vormen. Mycelium kan dan ook direct groeien op deze kleine moleculen en zelfs paddenstoelen produceren (zie later). Dat geeft in principe de mogelijkheid om met een gedefinieerd substraat de voedingsbehoeften van uitgroeiende champignons te bepalen en wellicht in de toekomst een productiesysteem te ontwikkelen met dit gedefinieerde substraat.

De vorming van paddenstoelen

Paddenstoelen worden gevormd op dekaarde, een combinatie van veen en schuimaarde of mergel. Het water in de dekaarde is een belangrijke bron voor het water dat nodig is voor de vorming van champignons. Ca 25-45 % van het water dat champignons nodig hebben komt uit de dekaarde, de rest uit de compost. De dekaarde is ook een manier

om enigszins de wateromtrekking aan de compost te compenseren. Door voldoende watergift aan de dekaarde komt een gedeelte in de (bovenste laag) compost terecht. De aanwezigheid van een bacteriepopulatie in de dekaarde is nodig om het vegetatieve mycelium aan te zetten tot knopvorming nadat de klimaatcondities zijn veranderd (koelen, CO₂ verlagen). De bacteriepopulatie speelt waarschijnlijk een rol bij het wegvangen van knopvorming-remmende stoffen. Dit effect kan ook bereikt worden aan steriele dekaarde actieve kool toe te voegen. Recent onderzoek (Bacterien in dekaarde, PRI rapport 2007-10) suggereert dat niet één bepaalde soort bacterie belangrijk is. De bacteriepopulatie in dekaarde is complex en er kunnen dynamische veranderingen in de soortensamenstelling van dekaarde optreden naar gelang de omstandigheden. Deze verschillende populaties lijken allemaal in staat te zijn om de remmende factoren weg te nemen. Op het moment dat de aanzet wordt gegeven voor knopvorming door ventilatie ondergaat het mycelium in de dekaarde een reeks van differentiaties. In een "time laps" opname van de dekaarde zijn een aantal stadia te onderscheiden:

- Op het moment dat met afventileren wordt begonnen komt de uitbreiding van het mycelium in de dekaarde tot een halt.
- Gedurende de daaropvolgende 3 à 4 dagen wordt het bestaande mycelium intens wit door een toename in dichtheid van het mycelium, waarschijnlijk door een sterke vertakking van het mycelium.
- Gedurende de volgende 3 dagen zijn er bewegingen te zien aan de oppervlakte van de dekaarde. De afzonderlijke bewegingen duren kort en er zijn telkens weer andere plekken die bewegen. Waarschijnlijk worden de bewegingen veroorzaakt door differentiatie van het mycelium vlak onder het oppervlak en is een voorbereiding voor het maken van knoppen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat er enorme hoeveelheden zéér kleine knoppen (primordia) worden aangemaakt (ca 60.000 per m²) die uiteraard niet allemaal uitgroeien.
- Hierna ontstaan er gecoördineerde bewegingen. Dat wil zeggen dat de plekken die blijven bewegen knoppen gaan vormen. De meesten groeien uit tot paddenstoelen.

Wat precies bepaalt welke knoppen doorgaan en welke paddenstoelen uitgroeien is niet bekend. Het kan gecorreleerd zijn aan de competitie om voedsel/water en wellicht ook aan remming van kleine knoppen door knoppen die voorlopen in ontwikkeling. Er zijn aanwijzingen dat primordia voor alle vluchten al gevormd zijn bij de eerste vlucht. Welke genen betrokken zijn bij de knopvorming, wordt op dit moment onderzocht in een STW project aan de Universiteit Utrecht. Middels een cofinanciering door PT is PRI Paddenstoelen betrokken bij dit project (PT projectnummer 12373). Hierin wordt gezocht naar de allereerste genen die verantwoordelijk zijn voor het proces dat leidt tot de vorming van paddenstoelen. Als we deze genen kennen en weten op welke externe prikkels ze reageren, kunnen we de knopvorming beter regelen. Dit is ook belangrijk als we alternatieven willen hebben voor dekaarde in een alternatief productiesysteem.

Eerder is al gemeld dat de enzymactiviteiten in de compost variëren. Tijdens de kolonisatie en tussen de vluchten zijn laccasen en Mn-peroxidase erg actief terwijl tijdens de vorming van paddenstoelen vooral (hemi)cellulasen actief zijn. Hoe dit gereguleerd wordt is nog niet helemaal duidelijk. Wel is vastgesteld dat er een terugkoppeling is van vruchtlichamen naar mycelium. Als één week voordat de eerste vlucht verwacht wordt er een geplukte paddenstoel op de dekaarde geplaatst wordt, zie je vrijwel onmiddellijk strengen ontstaan op de dekaarde die verbinding maken met de paddenstoel. Ook is er vrij snel een reactie in de compost te zien: een verschuiving van laccase activiteit naar cellulase activiteit. Dus een verschuiving van kolonisatie naar "gebruik" van compost. Er is dus een terugkoppeling van wat er op de dekaarde gebeurt naar de compost toe. Aangezien dit is vastgesteld op een compost die normaal gesproken pas een week later toe zou zijn aan de productie van champignons zou men kunnen concluderen dat de koppeling van wat boven de compost gebeurt naar "beneden" belangrijker is dan omgekeerd. Het is echter niet uitgesloten dat de "toestand" van de compost ook een invloed heeft op het aanzetten tot paddenstoelen. Feit is wel dat in de beleving van telers de "kwaliteit" van de compost een belangrijke invloed heeft op het tijdstip van productie en kwaliteit van de champignons. Compostkwaliteit is hier gedefinieerd als "activiteit" (warmteproductie) en visuele, subjectieve waarnemingen. Gezien deze slechte definitie van compostkwaliteit zal het geen verbazing wekken dat we niet weten welke factoren nu precies de productie en kwaliteit van champignons bepalen. Voedingsonderzoek kan hiervoor veel nuttige informatie verstrekken.

Lopend Onderzoek

Op dit moment lopen er een drietal door PT gefinancierde projecten die betrekking hebben op innovatie in voeding:

- PT project (PT nummer 13073) "Watergeven in de Compost". Uit eerder onderzoek gedaan door PPO Paddenstoelen is naar voren gekomen dat water suboptimaal aanwezig, c.q. beschikbaar is voor de champignon. In experimentele teelten bij PPO gaf watergift in de compost tijdens de uitgroei van champignons een positief effect op de opbrengst. Naar aanleiding hiervan zijn "on farm" experimenten gestart door DLV om het effect te verifiëren en het watergeven in de compost te verbeteren.
- PT project (PT nummer 12716) "Voedingsbehoeften van uitgroeiende champignons". In een eerder project is het concentratieverloop van macro- en micronutriënten gemeten van uitgroeiende champignons. Hierin werd vastgesteld dat de concentratie van een aantal nutriënten (gebaseerd op droge stof) daalt tijdens de uitgroei. Dat kan wijzen op het feit dat de champignon tijdens de uitgroei meer vraagt van het substraat dan er geleverd kan worden. In het nu lopende project is het verloop van deze nutriënten gemeten in de compost vóór en tijdens de uitgroei van champignons om te kijken of hiermee onderbouwd kan worden dat de compost inderdaad niet kan leveren wat champignons vragen.
- PT project (PT nummers 12159 en 12914) "Beheersen van microklimaat in dekaarde en compost". In dit door DLV uitgevoerde project wordt met een alternatieve manier van luchtbeweging geprobeerd om de dekaarde en compost beter aan te sturen.

LNV heeft in 2008 een bedrag vrijgemaakt voor innovatie in substraat bij de champignonteelt. Met deze financiering is een aanvang gemaakt om dragers te testen met gedefinieerde opgeloste voedingsstoffen om tot een modelsysteem te komen waarbij geen compost wordt gebruikt en waarin water en voedingsstoffen gereguleerd kunnen worden. In dit project (PRI project 3360626300) is in 2008 aangetoond dat dit in principe kan.

De PT projecten sluiten direct aan op de problemen die nu spelen in het substraat: lage benutting, vraag en aanbod van voeding niet goed afgestemd op wat de champignon nodig heeft en slechte stuurbaarheid. De projecten hebben een empirische benadering omdat we de fundamentele kennis missen wat een "optimaal" substraat is. Deze benadering heeft echter wel de potentie om op korte verbetering brengen in het huidige substraat en wellicht ook om kennis te genereren. Aangezien we de komende jaren nog steeds compost zullen blijven gebruiken is het verstandig om deze benadering te continueren.

Om echter goed te begrijpen welke eisen gesteld moeten worden aan het vegetatief mycelium qua biomassa, water- en voedingsstromen om een beheersbare optimale opbrengst en kwaliteit aan paddenstoelen te krijgen is een ander systeem nodig. Een systeem waarin parameters zoals waterbeschikbaarheid, concentratie en aard van voedingsstoffen, pH, gasuitwisseling etc. gecontroleerd afgesteld kan worden en waarbij bepaald kan worden welk effect dit heeft op de productie en kwaliteit van paddenstoelen.

In het LNV programma hebben we de eerste experimenten gedaan met een inerte drager en opgeloste voedingsstoffen. Daarbij zijn puimsteen en vermiculiet gebruikt als drager en een mout/peptide oplossing als voeding. Er is nog wel de traditionele dekaarde gebruikt. Om infecties te voorkomen is deze dekaarde gesteriliseerd. Vóór sterilisatie is actieve kool toegevoegd om knopvorming te stimuleren. Op dit systeem kunnen champignons geproduceerd worden. Het systeem moet echter geoptimaliseerd worden. Één van de eerste onderzoekslijnen is het optimaliseren van de vegetatieve groei van het mycelium op de drager omdat dit een vereiste is voor een goede paddenstoelproductie. De pH speelt hierbij een belangrijke rol.

4. Modellen voor voedingsonderzoek

Inzicht krijgen in de voedingsbehoeften van de champignon in het huidige compost-gebaseerde systeem is erg moeilijk gebleken. Het probleem met de huidige compost is zijn complexiteit. Veel factoren vertonen een interactie: water en beschikbaarheid voedingsstoffen; pH en oplosbaarheid; waterpotentiaal en structuur. Daarnaast veranderen deze factoren in het substraat ook nog tijdens de teelt. Het “sleutelen” aan deze factoren om te achterhalen wat hun optimum is, is daarom moeilijk uit te voeren in het huidige systeem. Door te werken op kleinere schaal met modellen waaraan wel zaken gevarieerd kunnen worden kan kennis gegenereerd worden die we nu ontberen.

Een model kan bestaan uit een inerte drager waaraan opgeloste voedingsstoffen zijn toegevoegd. In principe kunnen champignons daarop geproduceerd worden (zie later). Om sneller tot een model te komen dat dicht bij de praktijk staat en waaraan beter geregeld kan worden dan het huidige teeltsysteem, zou een model waarin wel compost gebruikt wordt een tussenoplossing kunnen zijn.

Modelsysteem met compost

Het manipuleren van water en voedingsstoffen in het huidige systeem met 20 cm dikke compostlaag blijkt niet makkelijk te zijn. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat de laag compost aanzienlijk dunner kan worden gemaakt waarbij tot een vuldikte van 50 kg/m² cm nog steeds vergelijkbare hoeveelheden paddenstoelen per ton compost wordt geproduceerd. De vermindering van de productie per m² wordt voornamelijk veroorzaakt door minder stuks per m². Eerdere experimenten uitgevoerd door PPO suggereren dat de biologische efficiëntie toeneemt als op nog kleinere schaal wordt geteeld. Het is dus de moeite waard om te kijken hoever je terug kunt gaan om een werkbaar systeem te krijgen. Aan deze dunne laag kan makkelijker water en voedingsstoffen worden toegevoegd, beter de temperatuur geregeld worden en beter belucht worden. Dat biedt de mogelijkheid om een aantal parameters die van belang zijn te variëren en daarmee kennis te ontwikkelen voor het huidige systeem en wellicht een alternatief, toekomstig systeem.

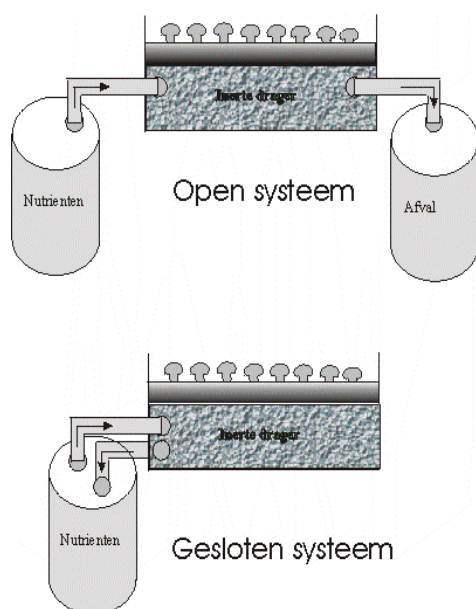
Uit diverse onderzoeken is gebleken dat water een cruciale rol speelt in de championenteelt. Terwijl het transport van voedingsstoffen en water bij planten goed bestudeerd is, is hierover erg weinig bekend bij schimmels. De kennis die beschikbaar is komt vooral uit metingen aan het substraat en champignons tijdens de teelt en niet uit de bepaling van de stromen van water en voeding in het systeem (substraat-mycelium en mycelium-champignons). Uit waarnemingen is gebleken dat champignons in de teelt ca 2/3 van het water opnemen uit de compost en 1/3 uit de dekaarde. Deze verhouding kan nogal verschillen, afhankelijk van het teelttype. Het water wordt voornamelijk uit de bovenste laag opgenomen en minder uit de onderste laag compost. Beïnvloeding van het watergehalte van de compost lijkt een effect te hebben op de opbrengst (lopend project DLV). De dikte van de dekaardelaag heeft invloed op de opbrengst en drogestofgehalte van champignons. Ook hier lijkt het effect te komen van de beschikbaarheid van water. Een belangrijke constatering is dat opbrengst en drogestofgehalte van champignons een negatieve correlatie hebben. Met andere woorden, hoe hoger de opbrengst des te lager het droge stof gehalte. Omdat een hoog drogestof gehalte samenhangt met een goede kwaliteit heeft de teler hier een dilemma. Een systeem waarin water (en voedingsstoffen) gereguleerd kunnen worden kan gebruikt worden om uit te zoeken waar het optimum in deze balans ligt en om te onderzoeken of het mogelijk is om dit knelpunt op te lossen zonder op opbrengst en kwaliteit in te leveren.

Een eerste stap in de ontwikkeling van het “Compost als Drager” model zou kunnen zijn om de dikte van de laag compost in stappen te verlagen tot het extreme en te kijken welke invloed dit heeft op opbrengst (kg/ton, stuks/m², stuksgewicht), kwaliteit (droge stof gehalte, houdbaarheid) en afbraak van de compost (organische stof). Hiermee wordt duidelijk of met een laagdikte gewerkt kan worden waaraan een aantal parameters (waaronder watergehalte) geregeld kan worden. Tevens wordt duidelijk wat laagdikte betekent voor de biologische efficiëntie (kg/ton compost). Het modelsysteem gebaseerd op compost kan ook gebruikt worden om meer fundamentele kennis te genereren wat er in de compost gebeurt tijdens kolonisatie en productie van paddenstoelen. Het mycelium zal tijdens de kolonisatie zijn enzymstelsel aanzetten om voorbereidingen te treffen voor de productie van champignons: het beschikbaar maken van polysacchariden (hemicellulose en cellulose) voor enzymen die deze tijdens de groei van champignons afbreken tot opneembare suikers. Dit “vrijmaken” gebeurt door eerst een gedeelte van de lignine (en complexe stikstofcomponenten?) af te breken die gecompliceerd is met (hemi)cellulose. In het

model kan gekeken worden hoe de oplosbaarheid (extraheerbaarheid) van (hemi)cellulose door de kolonisatie en tijdens de productie verandert en wat er onbenut blijft. Vezelanalyses zoals ADF, NDF en lignine kunnen deze kennis genereren. Ook het benutten van mineralen kan gemeten worden. Het is bekend dat ergosterol-gehalten een goede indicatie is voor de hoeveelheid schimmel die aanwezig is. Deze bepaling kan dus een goede schatting geven van de biomassa champignonmycelium die gevormd is. Een correlatie tussen de hoeveelheid mycelium, afbraak van organische stof (en welke componenten) en opbrengst en kwaliteit levert inzicht en kan makkelijker in een model systeem uitgevoerd worden. Ook kan dit systeem gebruikt worden om een reeks wilde lijnen te screenen op hun vermogen om (hemi)cellulose vrij te maken en de biologische efficiëntie te bepalen (gew. biomassa/gew. substraat) te bepalen. Als er grote verschillen te zien zijn tussen de verschillende wilde lijnen is het interessant om te achterhalen welke enzymsystemen hierin een rol spelen. Ook de bovengenoemde vezelanalyse kan daarbij nuttige informatie geven. Dat kan input leveren voor veredeling. Het beste enzymstelsel kan worden ingekruist in de huidige rassen.

Een model systeem gebaseerd op compost kan dus kennis genereren die nodig is om het huidige substraatgebruik te optimaliseren maar kan ook aansluiten bij het parallelle onderzoek waarbij alleen opgeloste voedingsstoffen gebruikt worden toegevoegd aan een inerte drager.

Gedefinieerde voeding



Schematische voorstelling van twee typen van een hydrocultuur waarin mycelium op een drager groeit waaraan opgeloste voedingsstoffen zijn toegevoegd).

Het voordeel van het gebruik van compost als drager in een model is dat op deze manier dichter bij het huidige systeem wordt gebleven en de kennis directer is terug te vertalen naar de praktijk. Een nadeel is dat er nog steeds met een substraat wordt gewerkt dat niet volledig te reproduceren is en niet volledig te manipuleren. Dat kan wel in een model bestaand uit een inerte drager waaraan oplosbare voedingsstoffen zijn toegevoegd die nodig zijn voor myceliumgroei en champignonproductie. De *proof of principle* is hiervoor al geleverd. Bechara et al (2006, Penn State University) hebben aangetoond dat champignons in principe in een hydrocultuur (hydroponic system) systeem kunnen worden geteeld. Dit is een systeem waarin opgeloste voeding kan worden toegevoegd aan een poreus materiaal waarop mycelium zich kan hechten. Voorbeelden van poreuze dragers zijn puimsteen, vermiculiet en perliet. In een hydrocultuur systeem kan voeding worden rondgepompt zonder toevoeging van nieuwe voeding (gesloten systeem), voordurend nieuwe voeding worden toegevoegd (open systeem) of niet worden rondgepompt (niet-circulerend systeem). In dat systeem is nog wel dekaarde gebruikt. Om infecties te voorkomen is deze dekaarde gesteriliseerd en hieraan actieve kool toegevoegd. Hierop blijken champignons ook goed te kunnen knoppen. Bechara en medewerkers hebben verschillende voedingsoplossingen gebruikt

en gekeken welk systeem het best functioneert. Een aantal conclusies kunnen uit dit werk getrokken worden:

- Gesteriliseerde dekaarde met 25% actieve kool produceert even goed op compost als normale dekaarde.
- Alle systemen en voedingsoplossingen produceerden minder dan normale compost.
- Dextrinen zijn betere koolstofbronnen dan sucrose. Dextrinen zijn korte suikerketens die ontstaan als zetmeel wordt gehydrolyseerd.
- Een oplossing van 30 g/L dextrine in een niet-circulerend systeem produceerde het best maar nog altijd slechts 30% van wat normale compost produceert.
- Antimicrobiële middelen zijn nodig in dit systeem

Bechara heeft ook de productie van champignons direct op broed bekeken. Conclusies uit dit onderzoek zijn:

- Millet gemengd met perliet (25%) produceert een vergelijkbare hoeveelheid champignons/m² als compost

- Broed (rogge) produceert minder per m² dan millet
- De biologische efficiëntie (versgewicht paddenstoelen per drooggewicht substraat) is echter het hoogst op 25% broed (rogge)/75% perliet mengsel. Deze efficiency is beter als die van compost.
- Water toevoegen aan dit systeem is belangrijk. Perliet kan hiervoor gebruikt worden.
- Middelen zijn nodig om infecties te voorkomen. Doorgroeiing moet steriel gebeuren.

Bovenstaande experimenten tonen aan dat een systeem zonder compost in principe mogelijk is maar dat er nog veel uitgezocht moet worden om het werkbaar te maken. LNV ondersteunt deze onderzoeksrichting en we denken dat het uitontwikkelen van dit systeem tot een lab-model veel kennis over voedingsbehoefte kan leveren. Onderzoek in dit systeem moet zich in eerste instantie niet laten leiden door technische problemen die een dergelijk systeem in de praktijk zou geven maar zich richten op de werking van het model zodat de nodige kennis gegenereerd kan worden. Als het systeem werkt en zijn nut heeft aangetoond kan gewerkt worden aan de uitwerking van de technische obstakels.

5 Doel van het onderzoek

Het doel van onderzoek dat gedefinieerd moet gaan worden in het Masterplan Voeding, is in eerste instantie kennis genereren. Deze kennis kan vervolgens gebruikt worden om het huidige systeem te optimaliseren dan wel een alternatief systeem te ontwikkelen. Het is echter belangrijk om van te voren te definiëren waaraan het systeem moet voldoen. Met andere woorden: tegen welke problemen lopen telers/composteerders/dekaardeproducenten nu aan. Wat zou in hun ogen een optimaal systeem moeten kunnen doen. Een simpele definitie is snel te geven: Een systeem met een hoge productie per eenheid substraat, betrouwbaar (voorspelbaar) en resulterend in een kwalitatief goed product. Wat het systeem dan precies moet doen en welke eisen gesteld worden kunnen verschillen voor plukkers en snijders. Plukkers zouden b.v. liever een continue productie zien gedurende een paar weken, zonder vluchten. Of misschien wel vluchten, maar dan op een andere manier. Misschien is één vlucht efficiënter en dus telkens met een nieuw substraat beginnen (ook qua hygiëne een aantrekkelijke optie). Snijders zouden een zéér goed voorspelbaar snijmoment willen. Een beter kwaliteit willen snijden. Minder verlies, hoger droge stof gehalte etc. Naast teelttechnische wensen kunnen er ook logistieke wensen zijn die vóór en na de teelt/oogst spelen waarop een nieuw teeltsysteem moet inspelen. Het is wenselijk om ook bij de afzet ten rade te gaan om te achterhalen wat een systeem moet kunnen om aan alle wensen van deze afnemers tegemeed te komen.

Het zou goed zijn om eerst met een kleine groep betrokkenen te brainstormen wat men onder een “optimaal” systeem verstaat en waarom. Dat geeft de mensen die betrokken zijn bij de invulling van het Masterplan Voeding een richting waarin ze moeten werken. Het is ook verstandig om daar klimaatmensen (b.v. Cpoint) bij te betrekken. Naast het genereren van nieuwe kennis met behulp van de modellen is er ook nog te weinig kennis beschikbaar van het huidige systeem. Dat is b.v. gebleken bij het opstellen van “Mushroom”, een basismodel voor de groei van champignons (Anne Elings, WUR-Glastuinbouw; Peter van Loon en Gerben Straatsma, PRI, 2007). In dit LNV project wordt gestreefd naar een model dat de groei en ontwikkeling van een champignon kan voorspellen op basis van gemeten waarden. Dat model moet een hulpmiddel zijn om de oogst te plannen en vormt een belangrijk element in de innovatie van de sector. Bij het opstellen van een dergelijk model is gebleken dat er nogal wat gegevens ontbreken van het huidige systeem om een werkend model te kunnen maken. Binnen WUR is kennis aanwezig van andere productiesystemen. Hierbij is ook kennis gegenereerd met behulp van goede meetsystemen. Het zou nuttig zijn om een goede inventarisatie te maken van de beschikbare meetsystemen/sensoren met het doel deze in te zetten in het huidige productiesysteem om kennis te genereren. Een teler zou b.v. graag willen weten welke invloed zijn watergeefregime heeft op het vochtgehalte in de dekaarde en de verschillende lagen van de compost.

Bijlage 1. Processen in vaste stof fermentatie

Uit: Modeling conversion and transport phenomena in solid-state fermentation: A review and perspectives (Yovita S.P. Rahardjo, Johannes Tramper en Arjen Rinzema; Agrotechnology and Food Science, WUR; 2006). Onderstaand figuur geeft een samenvatting van bestaande modellen van Reactie-Diffusie modellen in vaste stof fermentatie. Het model kan toepasbaar zijn voor elk compostdeeltje waaromheen (en gedeeltelijk in) mycelium groeit en beschrijft diffusieprocessen die daarbij een rol spelen. Drie lagen worden onderscheiden: het substraatdeeltje waarin hyfen gedeeltelijk doordringen, de natte buitenlaag en de luchthyfen die aan de buitenkant zitten. Belangrijke constatering van het onderzoek van deze groep in Wageningen is ook dat luchthyfen een belangrijke rol spelen bij het transport van zuurstof naar het substraat

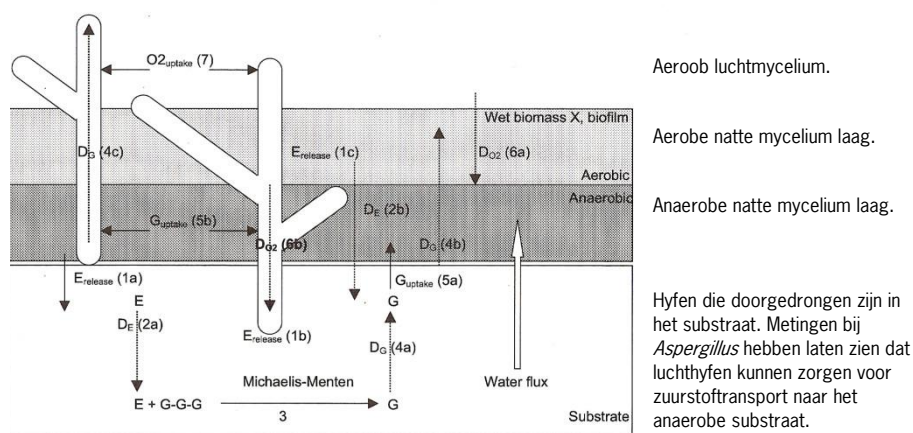


Fig. 6. Reaction diffusion models for substrate matrix, fungal biofilm and intracellular hyphae proposed by various authors and mechanisms that may be significant: (1a) release of hydrolytic enzyme at the substrate-biomass interface; (1b) release of hydrolytic enzyme at the tips of hyphae; (1c) release of hydrolytic enzyme along the hyphal body; (2a) diffusion of hydrolytic enzyme in the substrate matrix; (2b) diffusion of hydrolytic enzyme in the biofilm; (3) hydrolysis of starch by enzyme following Michaelis-Menten kinetics into free glucose; (4a) diffusion of glucose in the substrate matrix; (4b) diffusion of glucose in the biofilm; (4c) diffusion of glucose inside the hyphae; (5a) glucose uptake by the biofilm at the substrate-biomass interface; (5b) glucose uptake by the hyphae from the water in the biofilm; (6a) diffusion of oxygen in the biofilm; (6b) diffusion of oxygen inside the hyphae; and (7) oxygen uptake by the aerial mycelia.