

Literatuurstudie vocht in compost, dekaarde en champignons

Gerben Straatsma en Jos Amsing

© 2005 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, 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 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 2005-17

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Productschap Tuinbouw,
Louis Pasteurlaan 6, 2719 EE Zoetermeer. Tel. 079-3470707



Projectnummer: 620248

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Paddestoelen

Adres : Peelheideweg 1, 5966 PJ America

: Postbus 6042, 5960 AA Horst

Tel. : 077 – 464 75 75

Fax : 077 – 464 15 67

E-mail : infopaddestoelen@ppo.wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	4
1 INLEIDING	5
2 MATERIAAL EN METHODE	5
3 RESULTATEN	6
3.1 Water in substraat, mycelium en vruchtlichamen	6
3.2 Opname van voedingsstoffen en water	7
3.3 Transport door hyfen en strengen	8
3.4 Transport, kracht, snelheid en capaciteit	11
3.5 Transport veroorzaakt door verdamping?.....	12
3.6 Afvoer van water in vruchtlichamen en waterdamp.....	13
3.7 Opbrengst en kwaliteit van champignons	15
3.7.1 Opbrengst.....	15
3.7.2 Houdbaarheid en verwerkingsrendement	15
3.7.3 Intern vocht (waterstelen)	16
3.7.4 Bacterievlekken en bruinverkleuring.....	17
3.7.5 Huilende champignons	17
3.8 Watergeven.....	18
3.8.1 Dekaaarde	18
3.8.2 Compost.....	19
3.8.3 Watergeven in de praktijk.	21
3.9 Vochtsensoren	23
4 CONCLUSIES	25
5 SUGGESTIES VOOR ONDERZOEK.....	26
6 LITERATUUR.....	27

Samenvatting

Een belangrijke factor in de teelt van champignons is water in compost en dekaarde. In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd en besproken van een literatuurstudie naar de waterhuishouding in de champignonteelt. De resultaten geven inzicht in de rol van water bij myceliumactiviteit, knopvorming en groei van champignons. De eisen en randvoorwaarden die mycelium en vruchtlichamen stellen aan de vochthuishouding in de verschillende teeltfasen wordt verduidelijkt. Factoren die invloed hebben op de opname in dekaarde en compost van gegeven water worden besproken. De resultaten leveren enerzijds praktisch bruikbare kennis en inzichten op die in de praktijk kunnen worden toegepast en anderzijds inzicht en achtergrondkennis om in een toekomstig project gericht verder te kunnen werken aan oplossingen voor knelpunten op het gebied van de waterhuishouding.

De oorzaak voor het transport van water en daarin opgeloste voedingsstoffen van mycelium in de compost naar uitgroeiende champignons ligt in de zuigkracht die uitgroeiende champignons uitoefenen op mycelium in compost en dekaarde. De opgeloste organische stof in mycelium en in champignons onderscheidt zich in samenstelling. De zuigkracht van de oplossing in champignons is hoger dan die in mycelium. In dit verschil ligt waarschijnlijk de oorzaak voor het transport.

In de praktijk wordt er vaak vanuit gegaan dat verdamping de oorzaak is voor de activiteit van mycelium in compost en het transport van voedingsstoffen. De resultaten van het literatuuronderzoek wijzen in andere richtingen. De verdamping is het gevolg in plaats van de oorzaak van de activiteit. Om problemen bij de knopvorming en vluchtuitgroei bij te sturen dient men zich niet te zeer te concentreren op het stimuleren van de activiteit door verdamping. Als er meer kennis beschikbaar was over de verschillende deelprocessen van knopvorming en uitgroei zou men deze processen doelgericht kunnen beïnvloeden waarbij activiteitsstijging een neveneffect is.

In de korte periode van vluchtuitgroei kan tot 30% van het in het gezamenlijke substraat aanwezige water onttrokken worden door champignons en door verdamping. Deze onttrekking is dermate groot dat wij verwachten dat het vochtgehalte in het substraat een snel en groot verloop zal vertonen waarbij waarden buiten het optimale bereik komen. Teeltkundig biedt sproeien slechts beperkte mogelijkheden om optimale omstandigheden in compost en dekaarde te waarborgen. Er zouden nieuwe manieren van watergeven ontwikkeld moeten worden die water aanbieden op het moment dat er behoefte aan is, in het bijzonder bij de uitgroei.

Het gebruik van doorgroeide compost en dekaarde in de praktijk, samen met de manieren van watergeven, anticiperen op de grote vraag naar water tijdens de uitgroei van champignons. Het substraat mag echter niet waterverzadigd raken omdat zuurstoftoevoer en koolzuurafvoer noodzakelijk zijn. Correcties van te lage vochtgehalten tijdens de teelt worden bemoeilijkt door problemen bij de opname van water. Mycelium in dekaarde en compost heeft waterafstotende eigenschappen. Gegeven water kan daardoor door dekaarde en compost uit het teeltbed percoleren. Ook de knelpunten in de wateropname door het substraat zouden aangepakt kunnen worden door rechtstreeks water aan te brengen in het substraat in plaats van indirect door het besproeien van het teeltoppervlak.

1 Inleiding

Een belangrijke factor voor de teelt van champignons is water in compost en dekaarde. In de compost is het vocht van direct belang voor de afbraak van de compost door het champignonmycelium, voor de opname van de voedingsstoffen en voor het transport naar de uitgroeiende champignons. Enerzijds kan de compost bij aflevering een suboptimaal vochtgehalte hebben, anderzijds kan dat tijdens de teelt ontstaan doordat een groot deel van het vocht door verdamping verdwijnt. De dekaarde fungeert als een waterbuffer van waaruit vochttransport naar de compost kan plaats vinden. Door tijdens de teelt water te geven aan de dekaarde kan de teler in beginsel voor een goede vochtvoorziening van de compost zorgen. Aandachtspunt hierbij is dat het gegeven water moeilijk opgenomen wordt in dekaarde en compost en deels uit de compost percoleert. Telers beschikken niet over instrumenten om de wateropnemende eigenschappen van compost te bepalen. Er wordt water gegeven op basis van inschattingen wat onvermijdelijk risicovol is. Bij gebruik van gesloten plastic folie onder de compost, kan zich water ophopen boven de folie. Dit kan leiden tot ongewenste rottingsprocessen en opbrengstderving. Een tweede aandachtspunt is dat het optimale vochtgehalte van de compost tijdens de teelt onbekend is. Bijsturing van het vochtgehalte is helaas alleen mogelijk door water op de dekaarde te sproeien. Een nadeel hiervan kan zijn dat de structuur van de dekaarde en de kwaliteit van het mycelium in de dekaarde nadelig wordt beïnvloed.

Het is onvoldoende duidelijk:

- welke factoren invloed hebben op de opname in dekaarde en compost van gegeven water,
- welke rol water heeft bij myceliumactiviteit, knopvorming en groei van champignons,
- welke eisen en randvoorwaarden door mycelium en vruchtlichamen gesteld worden aan de vochthuishouding in de verschillende teeltfasen.

Met een literatuurstudie kan een samenhangend beeld van de waterhuishouding gevormd worden. De resultaten van de literatuurstudie zijn bruikbaar voor het verbeteren van de teelttechniek en zijn richtinggevend voor praktijkgericht vervolgonderzoek.

Het doel van het project is na te gaan welke mogelijkheden er zijn om constante en hoge champignonopbrengsten te bereiken door verbetering van de watervoorziening in compost en dekaarde.

2 Materiaal en Methode

Er werd een literatuurstudie uit gevoerd naar de vochthuishouding in de champignonteelt. Er werden internationale en nationale databases over wetenschappelijke literatuur geraadpleegd: ISI Web of Knowledge, inclusief Current Contents, Scopus, Biological Abstracts, CAB Abstracts en ARTIK van de Wageningse Universiteit. Daarnaast werden boeken en overdrukken van PPO-Paddestoelen gebruikt.

3 Resultaten

3.1 Water in substraat, mycelium en vruchtlichamen

Champignons bestaan voor ongeveer 93% uit water. Water is kwantitatief het belangrijkste bestanddeel van champignons. Afhankelijk van het geteelde champignonras is een vochtgehalte van doorgroeide compost van ongeveer 65% optimaal (Gerrits 1971 en 1985, Gerrits et al 1995 en 1997). Vochtgehalten beneden 65% leiden tot lage champignonopbrengsten uitgedrukt per kg droge stof compost. Boven 65% zijn de opbrengsten per kg droge stof compost constant, maar worden lagere opbrengsten per m² teeltoppervlakte bereikt doordat bij gelijke vulgewichten minder droge stof gevuld wordt.

De aanwezigheid van water in het substraat wordt meestal uitgedrukt als een 'gravimetrisch' gehalte: het gewicht van de hoeveelheid water in relatie tot het gewicht van het substraat. Niet al het aanwezige water is noodzakelijkerwijze beschikbaar. Water is met verschillende krachten aan het substraat en in mycelium en vruchtlichamen gebonden (Von Willert et al 1995, Lambers et al 1998). In het substraat zijn 'osmotische' en 'matrix' krachten belangrijk. Osmotische krachten worden veroorzaakt door opgeloste deeltjes. Een hoge osmotische waarde in het substraat maakt opname uit het substraat moeilijk. Bij planten op een hooggeconcentreerde oplossing treedt verwelking op (Lambers et al 1998); ook mycelium wordt negatief beïnvloed door een hooggeconcentreerde voedingsoplossing (Griffin 1994, Gervais & Molin 2003). Matrixkrachten worden uitgeoefend door wanden en poriën van vaste deeltjes. Net zoals in het substraat spelen in het mycelium matrixkrachten een rol. Dit is onder andere belangrijk bij transport door vaten zonder celinhoud. Dergelijke vaten kunnen als capillairen beschouwd worden en wandkrachten in capillairen leiden tot opstijging. In het mycelium speelt 'turgor' een rol. De turgor ontstaat doordat de celwanden van het mycelium een tegendruk bieden aan het opzwellen van de cellen door wateropname door osmose. De turgor heeft een negatief effect op de wateropname maar is noodzakelijk voor de stevigheid van mycelium en vruchtlichamen. Ook de zwaartekracht heeft invloed op water. Dit speelt een rol bij transport van water in de hoogte richting. Met de 'waterpotentiaal' kunnen alle natuurkundige krachten samen uitgedrukt worden (Von Willert et al 1995, Lambers et al 1998). Water heeft de neiging om zich te bewegen van een situatie met een hoge potentiaal naar een situatie met een lage potentiaal. Omdat de verschillende krachten het water binden, wordt de waterpotentiaal uitgedrukt met een negatief getal (zonder het minteken kan gesproken worden van 'zuigkracht').

In compost, dekaarde en champignons is de toestand van water beschreven door Beyer (1994, 1995), Harper (1991), Kalberer (1987, 1990a, 1990b), Magan et al (1995) en Noble et al (1999). De eenheid waarin de potentiaal, 'druk', wordt gegeven is Pa, Pascal. De osmotische potentiaal in dekaarde dient niet lager te zijn dan ongeveer -0.2 MPa en in compost niet lager dan ongeveer -2 MPa (Kalberer 1987; ter vergelijking: zeewater heeft een osmotische potentiaal van -2.8 MPa). Perssap van champignons heeft een osmotische potentiaal van ongeveer -0.8 MPa (Kalberer 1987). De matrixpotentialen van dekaarde en compost zijn respectievelijk -0.02 en -0.05 MPa (Harper 1991). Beecher et al (2001) lieten zien dat intact vruchtlichaamweefsel een waterpotentiaal heeft tussen -1 en -1.5 MPa. Doordat het intacte weefsel vaste deeltjes bevat speelt naast de osmotische kracht ook de matrixkracht een rol. Dit lijkt de reden dat zij een lagere waarde vonden dan Kalberer (1987) bij perssap van weefsel. Intact weefsel heeft een sterkere zuigkracht dan perssap.

Mycelium van de champignon is 'hydrofoob', waterafstotend. Dit geldt voor hyfen rond strengen en voor hyfen op het oppervlakte van de hoed (Umar & Van Griensven 1997a, 1998). Ook mycelium van andere schimmels kan hydrofoob zijn (Unestam & Sun 1995, Smits et al 2003). In hoeverre de waterafstotende eigenschappen beperkend zijn voor de opname van water door mycelium en door substraat, dat met waterafstotend mycelium doorgroeit, is onduidelijk. Umar & Van Griensven (1998) geven aan dat er zonder de vorming van strengen geen vorming van primordia en knoppen op kan treden. Dit betekent dat waterafstotend mycelium noodzakelijkerwijs in de dekaarde aanwezig is tijdens de ontwikkeling. Het proberen te vermijden van het ontstaan van waterafstotend mycelium, om de opname van water in de dekaarde te verbeteren, kan daarom contraproductief zijn.

Voor champignonmycelium is een goede zuurstofvoorziening en een goede koolzuurafvoer belangrijk. Om deze reden dient er in het substraat een vrij 'poriënvolume' te zijn en is waterverzadiging ongewenst. Treedt toch waterverzadiging op dan kunnen anaërobe, rottende plekken in de compost ontstaan die als gevolg daarvan niet bijdragen tot de productie van champignons (Amsing & Gerrits 1992). Dit kan gebeuren als veel water gegeven wordt in teeltbedden die onderin afgesloten zijn met plastic folie (Amsing et al 1992, Amsing 1993). Een dunne waterverzadigde laag laat echter weinig of geen negatieve effecten op de champignonopbrengst zien. Het valt niet uit te sluiten dat, ook al zou het waterverzadigde substraat ongeschikt zijn voor afbraak en levering van voedingsstoffen, het bijdraagt aan de voorziening met water. Metzler & Hecht (2004) concludeerden dat mycelium van de honingzwam, *Armillaria* sp., hout kan afbreken, ook als het hout verzadigd is met water. De schimmel kan, nog zonder het hout werkelijk af te breken, het hout binnen dringen. Vervolgens worden kleine droge kanaaltjes gevormd in het hout. Door deze kanaaltjes kan zuurstof naar binnen diffunderen waardoor werkelijke afbraak van het hout mogelijk wordt. We kunnen ons voorstellen dat er in een samenhangend mycelium van de champignon in compost zuurstof transport door strengen op kan treden naar plaatsen met een zuurstof tekort. Het is onduidelijk of dit werkelijk optreedt en over welke afstand effectief transport in een waterverzadigd substraat mogelijk is.

3.2 Opname van voedingsstoffen en water

Voedingsstoffen worden uitsluitend in opgeloste vorm opgenomen (Griffin 1994, Gervais & Molin 2003). Ze worden in het algemeen door biologische processen 'actief' opgenomen in de celinhoud van hyfen. De opname van water verloopt 'passief' door osmose, een fysisch proces. Niet alle voedingsstoffen komen in opgeloste vorm voor in het substraat. Het grootste deel van de koolstof is in gebonden vorm aanwezig als cellulose en andere polymeren, macromoleculen. Alleen de afbraakproducten van macromoleculen kunnen in oplossing gaan en opgenomen worden door mycelium. De opneembaarheid van mineralen verschilt per mineraal; stikstof komt in meerdere, al dan niet gebonden vormen voor, fosfaat komt vooral in gebonden vorm aan calcium voor, kalium komt bijna geheel in opneembare vorm voor (Straatsma mededeling). Het mycelium maakt een aantal gebonden voedingsstoffen beschikbaar voor opname. Het beschikbaar maken gebeurt door de uitscheiding van enzymen zoals cellulase voor het beschikbaar maken van opneembaar glucose uit cellulose (Turner et al 1975, Wood & Goodenough 1977), proteïnase voor het beschikbaar maken van opneembare aminozuren en ammonium-stikstof uit eiwit en uit stikstof gebonden aan lignocellulose en zuurfosfatase voor het beschikbaar maken van opneembaar fosfaat uit gebonden fosfaat. Naast de uitscheiding van enzymen is ook de uitscheiding door het mycelium van organische zuren belangrijk. Daardoor wordt de pH van de omgeving van het mycelium beïnvloed en kan de beschikbaarheid van een aantal stoffen toenemen. Het voorkomen van voedingsstoffen in opgeloste vorm is niet de enige voorwaarde voor opname. De opgeloste stoffen kunnen alleen in direct contact met mycelium opgenomen worden, er is, over heel kleine afstanden, transport nodig naar mycelium. Ook de door het mycelium uitgescheiden stoffen moeten getransporteerd worden, namelijk naar de plaats waar gebonden vormen van voedingsstoffen voorkomen om ze daar in beschikbare vorm te brengen. De transportvormen die voor kunnen komen zijn stroming en diffusie. Deze vormen worden onderscheiden in analogie aan het transport van voedingsstoffen in de bodem naar plantenwortels (Lambers et al 1998). Het is niet duidelijk of en van welke voedingsstoffen de opname beperkt wordt door een te lage beschikbaarheid of door een te traag diffusie naar mycelium. Tijdens de teelt wordt meer organische stof afgebroken en afgevoerd dan dat er mineralen worden afgevoerd. Hierdoor treedt een relatieve ophoping van mineralen in het substraat op (Gerrits 1987a). Samen met wateronttrekking leidt dit tot een stijging van de osmotische waarde, een verlaging van de osmotische potentiaal (Kalberer 1987, Versleijen 1990). Met name de bovenlaag van de compost verliest tijdens de ontwikkeling van een vlucht veel water en droge stof (Amsing 1993, Harper 1991, Versleijen 1990).

Van champignons is bekend dat bij de voeding met koolstof de stoffen trehalose en het osmotisch actieve mannitol belangrijk zijn. De koolstof die uit de compost wordt vrijgemaakt wordt opgenomen door het mycelium en in het mycelium omgezet tot trehalose. Trehalose is een dimeer dat veel in schimmels voorkomt. In vruchtlichamen komt weinig trehalose voor maar veel mannitol, een monomeer. Per deeltje trehalose kunnen twee deeltjes mannitol gevormd worden via enzymatische omzettingen (Wannet et al 1999). Door de splitsing van trehalose in twee deeltjes mannitol neemt de osmotische waarde van de

vloeistof waarin de omzetting plaats vindt toe. De mannitol concentratie in champignons neemt toe tijdens hun ontwikkeling tot een gehalte van 50% van de droge stof (Rast 1965, Hammond & Nichols 1976, Kalberer 1990a, Wannet et al 2000, Beecher et al 2001, Stoop & Mooibroek 1998). Enkele auteurs drukten de mannitol concentratie in andere eenheden uit. Als een oplossing gezien, komen de opgegeven waarden neer op een concentratie van ongeveer 200 mM. De osmotische potentiaal van een dergelijke oplossing is naar schatting -0.5 MPa (Von Willert et al 1995, Cochrane & Cochrane 2005). Deze waarde komt in de buurt bij de waarde opgegeven voor perssap door Kalberer (1987). Dit bevestigt het idee dat mannitol van belang is voor de osmotische potentiaal van vruchtlichaamweefsel.

3.3 Transport door hyfen en strengen

Voor het transport van water en voedingsstoffen zijn myceliumstrengen waarschijnlijk belangrijk. Hoe strengen van de champignon zijn opgebouwd en hoe transport optreedt is niet voldoende duidelijk. Over transport door strengen bij andere schimmels is meer bekend. Onder andere zijn schimmels onderzocht die in bosbodems op houtstukjes leven. Deze schimmels groeien vanuit een gekoloniseerd stukje hout de bodem in naar nog niet gekoloniseerde stukjes. Om het nog niet gekoloniseerde stukje zo efficiënt mogelijk te exploiteren worden voedingsstoffen in het mycelium op het 'oude' stukje door strengen getransporteerd naar het 'nieuwe' stukje. Ook is het transport in strengen van ectomycorrhizaschimmels onderzocht. Hierbij gaat het om voedingsstoffen die door de schimmel uit de bodem worden opgenomen en door myceliumstrengen getransporteerd worden naar de plantenwortel. De schimmel leeft in symbiose met de wortel. Het krijgt koolstof van de plantenwortel terug. In een overzichtsartikel behandelde Cairney (1992) de verschillende transportmogelijkheden in hyfen en strengen. Enerzijds kan de levende celinhoud voor transport zorgen, 'symplastisch transport', een langzaam transport. Anderzijds zijn er mogelijkheden voor transport door de niet levende delen in de strengen, 'apoplastisch transport', waardoor snel transport mogelijk is. Binnenin strengen komen 'vessel hyphae', vaten, voor die ontstaan zijn uit parallel aan elkaar liggende schimmelcellen waarvan de contactwanden zijn opgelost en waarvan de levende inhoud, het cytoplasma, verdwenen is. Deze vaten kunnen als capillairen beschouwd worden. De vaten zijn omgeven door levende cellen. Voorts komen in de strengen lege ruimten voor, tussen niet regelmatig parallel liggende hyfen, en in de poreuze celwand van hyfen. Ook door deze ruimten is transport mogelijk. Voor afbraak van compost en groei van champignons komen Cairney's gezichtspunten er op neer dat hyfen in de compost koolstof en andere stoffen opnemen in de levende cel inhoud van de hyfen. Vervolgens worden de stoffen getransporteerd naar een vat van 'vessel hyphae'. Aan het andere einde van het vat worden de stoffen weer opgenomen in de levende celinhoud, bijvoorbeeld van hyfen die tot een uitgroeiende champignon behoren.

Garrett (1954) nam aan dat strengen van de champignon uit de bundeling van gewone hyfen bestaan. Hij kon zich dan ook niet voorstellen dat het transport door een streng sneller zou kunnen verlopen dan door individuele hyfen van een gelijk aantal en gelijke opbouw als dat in de streng. Snel transport door een streng is alleen mogelijk als de streng een alternatief biedt voor het transport door individuele hyfen. Cairney (1992) beschreef voor een aantal schimmels vaten van 'vessel hyphae'. Dergelijke vaten zijn in strengen van de champignon waargenomen onder teeltomstandigheden door Hein (1930) en onder omstandigheden in de natuur door Agerer (2002, Fig 1). Wood et al (1985) waren echter van mening dat er binnenin de strengen hyfen met een grote diameter voorkwamen die gevacuoliseerd waren; cellen met een levende inhoud. Dat is strijdig met de definitie van vaten van 'vessel hyphae'. Heckman et al (1989) beschreven de aanwezigheid van brede hyfen in de strengen die zij 'vascular hyphae' noemen. Zij vermelden echter niet of deze hyfen een levende celinhoud hebben of niet. Mogelijk dat Wood et al (1985) en Heckman et al (1989) jonge strengen hebben onderzocht waarin de 'vessel hyphae' nog niet volledig ontwikkeld waren (Agerer 2002).

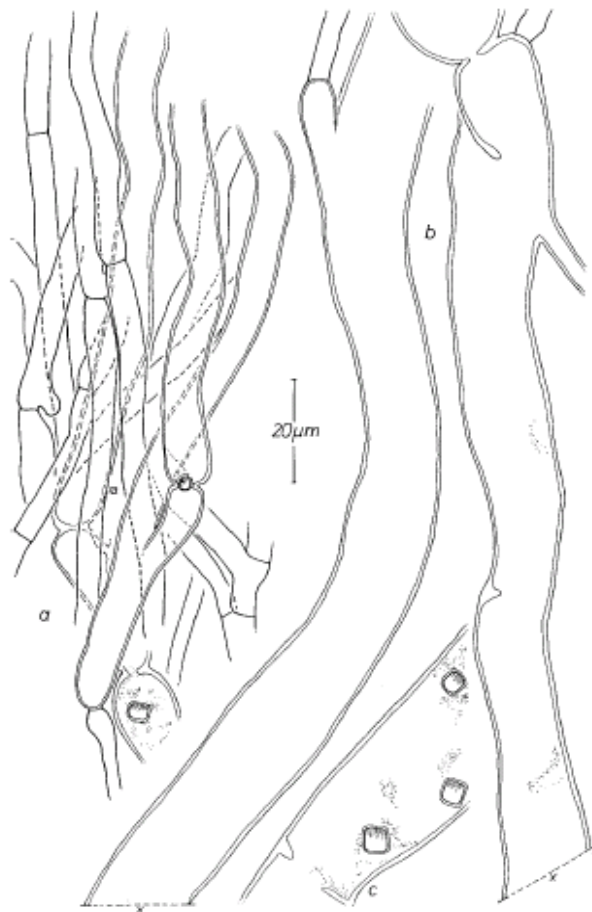


Fig 1 (Agerer 2002, fig 6). *Agaricus bisporus* strengen. - a. Jonge streng met enkele opgezwollen hyfen, de voorlopers van 'vessel hyphae'. De hyfen zijn nog gevuld met levende celinhoud. - b. 'Vessel hyphae'-achtige hyfen; dwarse celwanden verdwenen, aanwezigheid van enkele kristallen. Op de met x gemarkeerde plaatsen passen de hyfen aan elkaar- c. 'Vessel hyphae'-achtige hyfen; gedeeltelijk opgeloste dwarse celwand, drie kristallen.

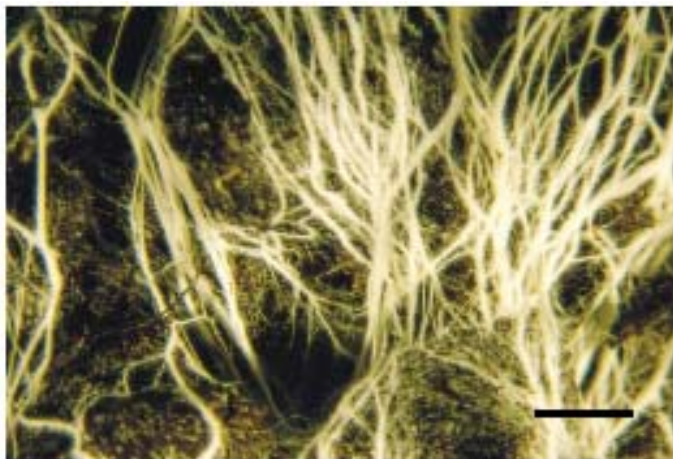


Fig 2 (Umar & Van Griensven 1998, fig 5). Na het afdekken ontstaan strengen met veel onderling contact. Schaalstreepje 10 mm.

Umar & Van Griensven (1998) onderzochten het ontstaan van strengen. De nog niet gespecialiseerde hyfen waaruit een streng ontstaat bestaan uit hydrofobe, waterafstotende, hyfen met calciumoxalaat kristallen op hun oppervlak. Dergelijke hyfen werden 'fluffy white hyphae' genoemd. Aan de hyfen ontstaan kleine bolletjes, waarschijnlijk dode cellen, die 'blue bodies' genoemd werden. Deze bolletjes bestaan uit een materiaal waardoor hyfen aan elkaar plakken, hun calciumoxalaat kristallen verliezen en samengroeien tot een streng. Het plakkende materiaal werd 'extracellular matrix' genoemd. De streng blijft omgeven door niet gespecialiseerde, waterafstotende hyfen. Het inwendige van de streng bestaat uit hyfen die geen water afstoten.

Tijdens de kolonisatie van compost door champignonmycelium, in Fase-III in tunnels, is strengvorming waarschijnlijk normaal. Na het losmaken van doorgroeide compost ontstaat na het vullen in teeltcellen snel een samenhang van het mycelium in de compost, maar herstellen de strengen zich waarschijnlijk maar in beperkte mate. Dit kan afgeleid worden uit een reeds lang geleden uitgevoerd onderzoek van Flegg (1962). Als er weinig strengen zijn is het moeilijk voorstelbaar hoe transport door strengen belangrijk kan zijn.

Voor transport spelen de overgang van strengen naar steel, de steel zelf en de overgang van steel naar hoedweefsel een rol. Umar & Van Griensven (1997b) laten details zien van de overgang van steel naar hoedweefsel (Fig 3). Deze overgangsplaat ziet er in een doorsnede altijd 'vochtig' uit. Juist in dit gebied ontstaan 'degeneratieve' holtes. Deze holtevorming is één van de duidelijkste aspecten van het ouder worden van champignons. Blijkbaar is de overgang van steel naar hoed een 'zwakke' plek in de bouw van champignons. Wij stellen ons voor dat op deze plek transportproblemen kunnen ontstaan, zoals vochttophopping bij 'waterstelen' (Amsing et al 2002).

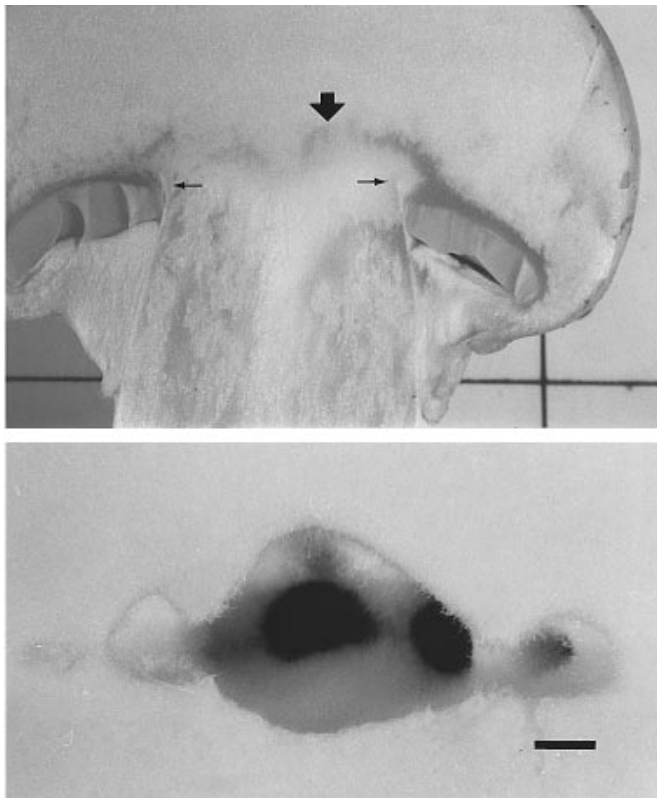


Fig 3 (Umar & Van Griensven 1997b, fig 16 en 17). Holtevorming in de overgangsplaat van steel naar hoed. In de bovenste figuur is een vruchtlichaam met een hoeddiameter van 46 mm te zien. Het centrale deel van de steel is opvallend wit. De dunne pijltjes wijzen naar de nog gesloten ruimte waarin de lamellen zicht ontwikkelen. Tussen deze ruimtes is een gegolfde laag zichtbaar die met een dik pijltje wordt aangegeven; dit is de altijd zichtbare overgangsplaat tussen steel en hoed. In de onderste figuur is sterke holtevorming te zien in een 8 dagen oud vruchtlichaam; schaalstreepje 2 mm.

3.4 Transport, kracht, snelheid en capaciteit

Een verschil in waterpotentiaal kan druk- of zuigkrachten en transport veroorzaken. In levende hyfen kan ook transport door een typisch biologisch proces, 'cytoplasmatische stroming' van de celinhoud optreden. Het 'cytoskelet' en 'moleculaire motoren' spelen hierbij een rol (McKerracher & Heath 1987, Lew 2005). Of deze vorm van transport van betekenis is voor de relatief lange afstand van compost naar vruchtlichamen is onduidelijk. Lambers et al (1998) en Von Willert et al (1995) beschreven de oorzaken van transport van vloeistof in planten. De lage waterpotentiaal, de grote zuigkracht, van relatief droge lucht kan tot transport van vloeistof en verdamping leiden. Bij planten zoals bomen is het hoogte verschil tussen bodem en bladeren dat overwonnen moet worden groot en heeft de zwaartekracht een grote invloed op het transport. Bij de groei van champignons is de te overwinnen hoogte klein, maximaal een halve meter. De druk die door de zwaartekracht wordt uitgeoefend over deze hoogte bedraagt ongeveer 0.005 MPa. Die kracht is in verhouding tot osmotische en matrixkrachten in compost en dekaarde klein (zie hoofdstuk 3.1). Als alleen de osmotische potentialen die in hoofdstuk 3.1 genoemd worden een rol spelen, zou water geen neiging hebben om zich van compost naar vruchtlichamen te bewegen (potentialen van respectievelijk -2.0 en -0.2 MPa). Wel zou transport mogelijk zijn van de dekaarde naar vruchtlichamen (potentialen van respectievelijk -0.2 en -0.8 MPa). De relatie tussen de osmotische potentiaal van de dekaarde en die van het perssap van de daarop groeiende champignons, gevonden door Kalberer (1990a), lijkt het beschouwde transportmechanisme te ondersteunen. In de beschouwing is geen rekening gehouden met matrixkrachten, zwaartekracht en cytoplasmatische stroming. Overigens is in de teelt de waterpotentiaal van de lucht in de teeltruimte laag, de zuigkracht hoog, namelijk ongeveer -14 MPa bij 20 °C en 90% RV (Lambers et al 1998). Bij voetjes die op het teeltbed blijven staan na het snijden van champignons is het effect van 'myceliumdruk' (Hermans 1987) zichtbaar. Deze druk kan verklaard worden door de osmotisch potentiaal van de transportvloeistof in het mycelium die water uit het substraat blijft aantrekken. Het volume van de transportvloeistof in het mycelium stijgt en er treedt 'overloop' op op het snijvlak van het voetje (Fig 4).



Fig 4. Vochtproductie door 'myceliumdruk' op voetjes van zojuist afgesneden champignons. Uit dekaarde op 10 mm gaas.

Transport in mycelium en paddestoelen kan zichtbaar gemaakt worden met stoffen die direct of indirect herkenbaar zijn zoals kleurstoffen (Schuette 1956, Hickey et al 2005), radioactieve 'tracers' (Nielsen & Riber Rasmussen 1962, Rast 1966) of zeer kleine oliedruppeltjes (Lew 2005). Het inzetten van speciale apparatuur zoals NMR (Donker et al 1997, Scheenen et al 2002) kan hierbij nuttig zijn. Schuette (1956) verzamelde verschillende soorten paddestoelen in de natuur en plaatste de afgesneden paddestoelen met hun steel in een kleurstofoplossing. Hij vond transportsnelheden tussen 6 en 8 cm per uur. Hij paste deze kleurstofoplossing ook toe in het veld bij een heksenkring van weidekringzwammen. De vloeistof werd op het mycelium gegoten op iets meer dan 5 cm afstand van een vruchtlichaam. Binnen 3 uur raakte het vruchtlichaam gekleurd. Kritskii et al (1965) plaatsten champignons, waarvan het voetje was afgesneden, in een oplossing met radioactief fosfaat. Zij vonden een snelle opname van fosfaat maar kwantificeerden de opname- of transportsnelheid niet. Rast (1966) plaatste geplukte champignons, met voetje, in een oplossing met radioactief mannitol en vond een transportsnelheid van ongeveer 3 cm per uur. Terughoudendheid bij de interpretatie van waarnemingen aan geplukte champignons is noodzakelijk omdat

geplukte champignons anders reageren dan champignons die op het teeltbed staan en blijven groeien (Hammond & Nichols 1975, Turner 1977, Umar & Van Griensven 1997b, Braaksma et al 1998, Zivanovic et al 2000). Ook dient voorzichtig te worden omgegaan met waarden van transportsnelheden. Deze snelheden zijn niet direct te relateren aan hoeveelheden die getransporteerd worden, de transportcapaciteit. Voor een capaciteitsschatting zouden we uit kunnen gaan van een champignon die alle ruimte heeft. Zo een paddestoel kan 100 g zwaar worden en toch nog geen kenmerken van groeivertraging laten zien. Deze champignon heeft de neiging om zijn gewicht in een dag te verdubbelen. In een dag zou er 100 g 'voeding' aangevoerd kunnen worden (nog niet rekening houdend met aanvoer van de hoeveelheid water die verdampt zal worden). De steel van zo een paddestoel is misschien 3 cm in doorsnede; de doorsnede heeft een oppervlakte van ongeveer 7 cm². Door dit oppervlakte stroomt in een dag de 100 g, is 100 cm³ voeding. De stroomsnelheid is dan $100 / 7 = 14$ cm per dag. Het is echter niet waarschijnlijk dat de hele doorsnede betrokken is bij het transport en daarom zal de transportsnelheid hoger zijn dan de genoemde waarde.

3.5 Transport veroorzaakt door verdamping?

In de champignonteelt wordt veelal gesteld dat de lucht in de teeltruimte voldoende verdamping mogelijk moet maken om transport van voedingsstoffen naar knoppen en uitgroeiende champignons te realiseren (Hammond & Wood 1985, Hermans 1987). Een citatie uit Hammond & Wood (1985, p64): 'The mechanism of translocation in fungi is not well understood and several mechanisms have been proposed including diffusion, cytoplasmic streaming, osmotic flow and transpiration The mechanism of translocation in fruit bodies is thought to be largely by bulk flow induced by transpiration'. Mader (1943) en Riber-Rasmussen (1959) voerden behandelingen uit met teelteenheden in kleine volledig afgesloten ruimten waarin de lucht vochtverzadigd moet zijn geweest en verdamping onmogelijk. Als er voor het uitvoeren van de behandeling al kleine champignons op de teelteenheid aanwezig waren, groeiden deze in de afgesloten ruimten uit (zie Fig. 5). De uitgegroeide champignons vertoonden een afwijkende vorm, maar de groeisnelheid leek niet negatief beïnvloed. Er werden geen nieuwe champignons gevormd (Mader 1943). Als een teelteenheid, al met knoppen op de dekaarde, in een afgesloten ruimte werd geplaatst, met daarin een bakje met kaliloog om het geproduceerde CO₂ weg te vangen, volgde een vrijwel normale teelt met verschillende vluchten (Riber-Rasmussen (1959). In een onderzoek naar de oorzaken van 'intern vocht' voerden Amsing et al (2002) proeven uit waarbij delen van een teeltbed overkapt werden met een 'tent' van plastic folie om de verdampingsmogelijkheden voor de champignons onder de 'tent' te beperken. De beperkte verdamping leidde tot het ontstaan van champignons met intern vocht maar er werd geen effect op de groeisnelheid vastgesteld. De resultaten van Mader (1943), Riber-Rasmussen (1959) en Amsing et al (2002) zijn een duidelijke aanwijzing dat een vochtverzadigde lucht, waarin verdamping onmogelijk is, groei toelaat.



Fig 5. Een teeltkist met enkele kastanjechampignons. Een glazen pot over een champignon, om verdamping vrijwel onmogelijk te maken, leidt niet tot groeivertraging (foto Ed Hendrix, PPO-Paddestoelen).

Cairney (1992) concludeerde dat het transport in de strengen die hij bestudeerde door verschillen in osmotische potentiaal ontstonden. Van belang daarbij is dat strengen in de bodem, die geen transport tot boven het bodemniveau hoeven te realiseren, alleen bloot staan aan de waterpotentiaal in de bodem, niet aan die in de atmosfeer, waardoor transport gerelateerd aan verdamping niet op treedt. Amir et al (1995) bestudeerden het transport van mycelium naar sclerotia van de morielje en concludeerden dat het transport veroorzaakt werd door osmotische potentiaal verschillen.

Verdamping lijkt niet per se nodig om transport van voedingsstoffen naar uitgroeiende champignons mogelijk te maken. Verdamping kan een aanvullende rol spelen bij transport naast het transport dat veroorzaakt wordt door osmotische en matrixkrachten. Dit betekent niet dat verdamping een onbelangrijk proces is. Verdamping is belangrijk voor de afvoer van warmte, in latente vorm, die in actieve compost ontstaat. Verdamping is een indicatie voor myceliumactiviteit, een activiteit die essentieel is voor de uitgroei van champignons.

Bekend is dat een lage luchtvochtigheid tot problemen kan leiden zoals schubvorming en het compleet uitblijven van groei (San Antonio & Flegg 1964, Hermans 1987).

Als de teelt rond de periode van primordiavorming en -uitgroei niet naar verwachting verloopt, kan een teler de wens hebben de activiteit te stimuleren. Het lijkt niet verstandig om de aandacht bij het willen stimuleren van de activiteit vooral te richten op de verdamping. Verdamping, geïsoleerd bekeken, lijkt immers niet de oorzaak van een voedingsstroom vanuit het mycelium in de compost naar uitgroeiende champignons. In het algemeen neemt de activiteit en de snelheid van een biologisch proces toe door de temperatuur van het proces te verhogen. In de periode van primordiavorming en -uitgroei vinden er echter meerdere deelprocessen plaats. De teler zou er bij gebaat zijn precies te weten welk deelproces hij wil beïnvloeden. Belangrijk bij de uitgroei is dat de 'vraag' van uitgroeiende champignons naar voedingsstoffen een sterke invloed heeft op de afbraak van compost door het mycelium. Uitgroeiende champignons laten in beginsel dagelijks een verdubbeling van hun gewicht zien. Dit heeft tot gevolg dat de vraag naar voeding tijdens de uitgroei toeneemt. Het mycelium heeft hier niet van te voren op geanticipeerd en breekt compost af op het moment van de vraag. Aanwijzingen hiervoor zijn de optredende fysiologische veranderingen in het mycelium in de compost die parallel verlopen aan de uitgroei van een vlucht (Turner et al 1975, Wood & Goodenough 1977). Een andere aanwijzing is dat in compost die niet wordt afgedekt en waarop geen champignons ontstaan minder droge stof wordt afgebroken dan in compost waarop normaal geteeld wordt (Loeffen 1998, Straatsma 2004). De hoeveelheden droge stof die afgebroken worden zijn respectievelijk ongeveer 20 en 80 kg per ton doorgroeiende compost bij het vullen. Om de myceliumactiviteit in de compost te stimuleren bestaan er in beginsel minstens twee mogelijkheden: - stimulatie door temperatuurverhoging, en - stimulatie door het uitgroeiproces te bevorderen. Helaas is niet duidelijk hoe dit laatste bereikt kan worden. We kunnen ons voorstellen dat een temperatuurverhoging leidt tot neveneffecten die uiteindelijk het uitgroeiproces bemoeilijken in plaats van stimuleren. De problematiek waarmee de teler geconfronteerd wordt bij het willen stimuleren van de activiteit hangt samen met onvoldoende beschikbare kennis over de opeenvolgende deelprocessen van primordiavorming en -uitgroei.

3.6 Afvoer van water in vruchtlichamen en waterdamp

Water wordt opgenomen door uitgroeiende champignons en verdwijnt door verdamping. Gielen (2004) onderzocht de champignonopbrengst en de afvoer van waterdamp door de klimaatsinstallatie in 55 teelten bij een snijbedrijf. Amsing & Straatsma (2004) onderzochten in detail de uitgroei van de eerste vlucht in 20 van de 55 teelten uit het onderzoek van Gielen (2004). Op basis van deze onderzoeken komen wij tot een aantal kengetallen over de waterhuishouding die gepresenteerd worden in Tabel 1. Bij het berekenen van een aantal waarden in Tabel 1 werden drie rekenregels gebruikt. De eerste regel is dat er per kg geproduceerde champignons ongeveer 200 gram droge stof in compost wordt afgebroken (Tschierpe & Sinden 1962, Gerrits et al 1967, Loeffen et al 1998). De tweede regel is dat er bij de afbraak van 1 kg droge stof 17.5 MJ warmte vrij komt. De derde regel is dat met de genoemde warmte 7 kg water verdampt kan worden (Straatsma et al 2000). Het waterverlies uit het substraat in de vijf dagen van vluchtontwikkeling tot oogst was maar liefst 29% van de totale hoeveelheid water die aanwezig was in compost en dekaarde. Deze onttrekking in korte tijd is dermate groot dat wij verwachten dat het vochtgehalte in het substraat snel

afnam en buiten het optimale bereik kwam.

Verdamping kan optreden vanuit de bovenkant van het teeltbed uit de dekaarde, vanuit de onderkant uit de compost, maar ook vanuit champignons. Champignons verdampen bijna net zo gemakkelijk als een vrij wateroppervlakte van gelijke temperatuur (San Antonio & Flegg 1964). Zij stelden verder vast dat onder experimentele omstandigheden de verdamping vanuit uitgroeiende champignons de helft uitmaakt van hun uiteindelijke gewicht (San Antonio & Flegg 1964). De afvoer van water in champignons en voetjes was 1.5 tot bijna 2 maal zo groot is als de verdamping uit petrischalen met vochtige dekaarde. In de onderzochte snijteelten in Tabel 1 (Gielen 2004, Amsing & Straatsma 2004) werd per ton compost 274 kg water afgevoerd in vruchtlichamen en voetjes van de eerste vlucht en verdween in de periode van vluchtingroei 89 kg water door verdamping. Het aandeel van de verdamping in de wateronttrekking was ongeveer 25%.

Tabel 1. Water in teelten bij een snijbedrijf (Gielen 2004, 55 teelten; Amsing & Straatsma 2004, details van 20 van 55 teelten). Parameterwaarden uitgedrukt per ton doorgroeide compost bij het vullen.

parameter	waarde	eenheid	waarde	eenheid
water in compost begin teelt	650	kg		
water in dekaarde begin teelt	270	kg		
watergift 'op vocht sproeien' (20 teelten)	214	kg		
eerste vlucht (20 teelten)				
watergift op uitgroeiende vlucht 1	247	kg		
percolaat	?	kg		
champignon opbrengst vlucht 1	256	kg		
water in champignons + voetjes vlucht 1	274	kg		
waterdamp afvoer tot en met knopvorming	143	kg		
waterdamp afvoer 5 daagse ontwikkeling vlucht 1	89	kg		
water verlies uit substraat in 5 dagen	29	%		
gehele teelt, 2 vluchten (55 teelten)				
champignon opbrengst, 2 vluchten	413	kg		
water in champignons + voetjes	442	kg		
berekend droge stof verlies compost	80	kg		
berekende warmte productie compost	1400	MJ		
berekende potentiële verdamping	560	kg		
warmte afvoer via klimaatsinstallatie	1133	MJ	314.8	kWh
waterdamp afvoer via klimaatsinstallatie	417	kg		

In onderzoek van Amsing & Straatsma (2004) kwam naar voren dat de hoeveelheid water die door verdamping afgevoerd wordt relatief laag is bij grotere aantallen champignons op de bedden (Fig 6). Dit kan verklaard worden door het relatief snel dichtgroeien van de ruimtes tussen champignons bij grote aantallen. Hierdoor wordt waarschijnlijk de verdamping belemmerd. Deze relatie is mogelijk van belang omdat uit het onderzoek verder bleek dat de champignons van een vlucht met veel stuks relatief veel intern vocht bevatten.

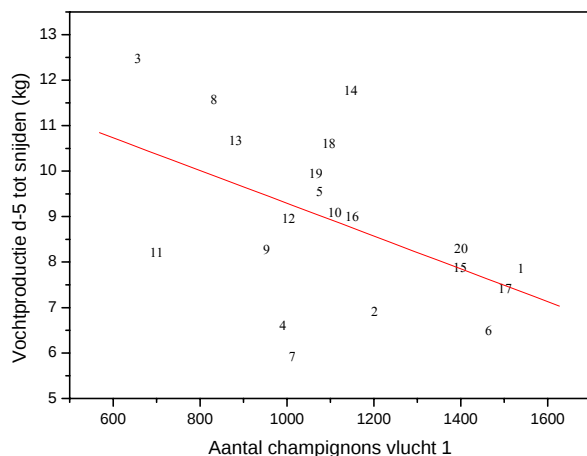


Fig 6. Aantal champignons op het bed (vlucht 1) en vochtproductie gedurende de laatste 5 dagen voor het snijden (Amsing & Straatsma 2004). Cijfers per 100 kg doorgroeide compost.

3.7 Opbrengst en kwaliteit van champignons

3.7.1 Opbrengst

Bij de analyse van een groter aantal teelten worden correlaties gevonden tussen de champignonopbrengst en het vochtgehalte en ook het stikstofgehalte van de compost (Gerrits & Amsing 1994, 1987b, 1997; Seaby 1995). Ook in de praktijk wordt aan de verbanden grote betekenis gehecht en worden vocht en stikstof als opbrengstbepalende factoren gezien. Binnen het gangbare teeltsysteem zijn andere factoren minder duidelijk opbrengstbepalend. Hierbij speelt de wet van Liebig, de wet van het minimum, een rol dat de opbrengst bepaald wordt door de factor die in het minimum is. Pas als optimaal voorzien is in vocht en stikstof wordt een volgende factor opbrengstbeperkend. De voorgaande hoofdstukken maken duidelijk hoe dynamisch en complex de vochtthuishouding is tijdens de teelt. Dat de voorziening met vocht tijdens de teelt optimaal is twijfelachtig. Een suboptimale vochtvoorziening zou andere aandachtspunten op het gebied van voeding daardoor volledig kunnen overschaduwen.

3.7.2 Houdbaarheid en verwerkingsrendement

In de champignonteelt wordt veelal gesteld dat kwaliteit en houdbaarheid van champignons afhangen van het vochtgehalte van champignons. Kwaliteit en houdbaarheid hangen af van het ontwikkelingsstadium, de 'fysiologische leeftijd', van de geoogste champignons (Hammond & Nichols 1975, Braaksma et al 1999). De tijd die kleine champignons nodig hebben om uit te groeien tot de maat van naburige grote champignons is minstens drie dagen; overeenkomend met het aantal oogstdagen in een vlucht. Als een vlucht vrijwel uitgegroeid is, kunnen binnen één dag alle champignons op het teeltbed, van klein tot groot, vliezen en open gaan. De fysiologische leeftijd van champignons ligt dicht bij elkaar dan de verschillen in grootte doen vermoeden. Bij de fysiologische veroudering is het gezamenlijke gewicht van de champignons op het teeltbed een belangrijke factor. Als vuistregel kan gebruikt worden dat het gezamenlijke gewicht zich dagelijks verdubbelt, met een maximum toename van bijna 10 kg per m² per dag. Als deze maximale snelheid bereikt wordt is een gewichtsverdubbeling per dag niet meer mogelijk en gaan de champignons vliezen en neemt hun fysiologische leeftijd snel toe. Het bereiken van de maximale snelheid van groei wordt bepaald door het gezamenlijke gewicht, dat beïnvloed wordt door zowel het aantal champignons als door de grootte van de champignons.

Het positieve effect van het toedienen van CaCl₂ aan het gietwater op kwaliteit en houdbaarheid (Miklus & Beelman 1996) berust op een effect op de knopvorming. Door toediening van zouten aan dekaarde of gietwater worden minder knoppen geproduceerd. De uitgroeiende champignons hebben een relatief jong ontwikkelingsstadium waaraan een iets hoger drogestofgehalte en een iets hogere kwaliteit zijn gekoppeld (Kalberer 1990a, Van Loon 2002a, b). Tijdens de ontwikkeling van knoppen tot rijpe

champignons neemt het droge stof gehalte af van meer dan 8% tot minder dan 7% (Kalberer 1990b, Van Loon 2000). Het mineralengehalte in de droge stof neemt af; het organische stofgehalte neemt toe (Straatsma mededeling). De toename van het organische stofgehalte geldt voor mannitol (Rast 1965, Hammond & Nichols 1976, Stoop & Mooibroek 1998, Wannet et al 2000) maar zou ook kunnen gelden voor de onoplosbare organische stof in het celwandmateriaal van de champignons. De hoed-'stiffness' (buigzaamheid) neemt af (McGarry & Burton 1994), evenals het gehalte aan oplosbaar eiwit (Burton 1988a). Ook de ademhalingssnelheid per gram droge stof vermindert (Hammond & Nichols 1975). De tyrosinase activiteit verandert bijna niet (Burton 1988b). Tot aan het vliezen van champignons neemt het ureumgehalte af en bij het open gaan van de hoed neemt het weer toe (Stijve & Diserens 1988, Wagemaker et al 2005).

Het droge stofgehalte van champignons vertoont in de meeste onderzoeken een relatie met het aantal knoppen dat uitgroeit in een vlucht: lage aantallen champignons leveren over het algemeen een hoger droge stofgehalte op dan hoge aantallen. Alle denkbare teelthandelingen die invloed hebben op het aantal champignons, hebben ook effect op het droge stofgehalte (Kalberer 1995). Over het algemeen hebben champignons met een lager droge stofgehalte ook een lagere stevigheid en houdbaarheid. In combinaties van fysiologische leeftijd en droge stofgehalten, met extreme gehalten door zouttoevoeging aan dekaarde, hebben beide factoren een positief effect op het rendement (Van Loon 1998, 2000, Fig 7). Voor de teelt van champignons van een gewenst vochtgehalte is controle over knopvorming van groot belang.

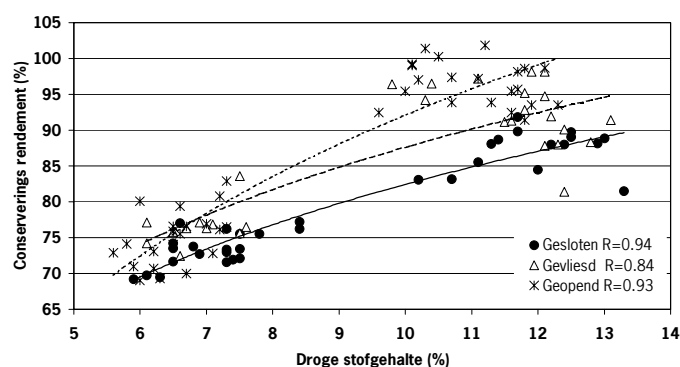


Fig 7. Invloed van het droge stofgehalte van champignons op het verwerkingsrendement (Van Loon 1998, 2000).

3.7.3 Intern vocht (waterstelen)

Als champignons uitgroeien en elkaar gaan raken ontstaat gewassluiting. Het gevolg is dat de afvoer van waterdamp en warmte vanaf de champignons bemoeilijkt wordt. Hierdoor stijgt de luchttemperatuur en het CO₂-gehalte onder de champignons (Amsing mededeling). Vastgesteld werd dat als meer knoppen op het bed tegelijkertijd uitgroeien, eerder gewassluiting optreedt en daardoor meer champignons met intern vocht voorkomen (Amsing & Straatsma 2004, Fig 8). Schade in de sector als gevolg van afgekeurde champignons met intern vocht is geraamd op 2 tot 4 miljoen Euro per jaar (Amsing et al 2002).

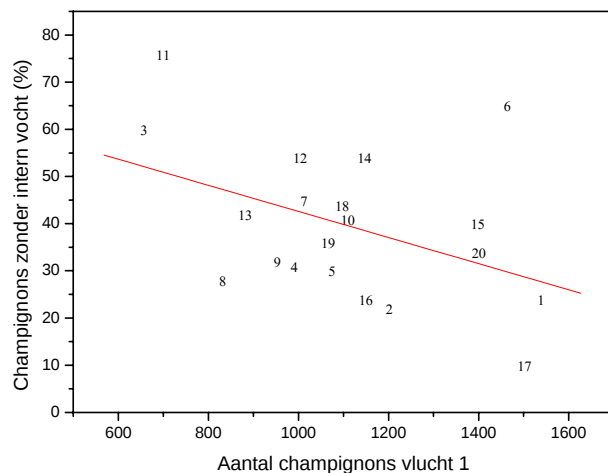


Fig 8. Aantal champignons op het bed en intern vocht in de champignon van vlucht 1 (Amsing & Straatsma 2004). Cijfers per 100 kg doorgroeide compost.

3.7.4 Bacterievlekken en bruinverkleuring

Bacterievlekken op champignons worden veroorzaakt door *Pseudomonas tolaasii*. Als door omstandigheden vaak kleine sproeibeurten gegeven moeten worden komt het opdrogen van het oppervlakte van champignons n het gedrang. Tijdens deze vochtige omstandigheden ontstaan gemakkelijk bacterievlekken op de vruchtlichamen (Geels et al 1991). Bij bruinverkleuring speelt de bacterie *P. agarici* een rol (Geels et al 1992). In Nederland kwam bruinverkleuring van champignons voor het eerst duidelijk voor in 1987. Het treedt dikwijls enkele dagen tot vlak voor de oogst op. Voor de kwaliteitsklasse I is dit een probleem, omdat slechts een geringe verkleuring is toegestaan. Uit een inventarisatie bij vershandelaren door Amsing (1992) bleek dat van de afgekeurde champignons 60% tot 70% werden afgekeurd als gevolg van een afwijkende kleur. Een onbekend deel van deze kleurafwijkingen betroffen infecties door *P. tolaasii* en *P. agarici*. Gemiddeld lag de maandelijkse afkeur van verse champignons op kleur in de periode 2000 – 2002 tussen 2% en 4%, overeenkomend met circa 2 tot 4 miljoen Euro. Bruinverkleuring kan voorkomen worden door de laatste dagen voor de start van de pluk te stoppen met sproeien (Amsing 1992).

3.7.5 Huilende champignons

Als oorzaak van huilende champignons (Fig 9) worden genoemd een bacteriële infectie en een verstoorde vochtregeling (Fletcher 1979). Het uittredend vocht heeft een hoge osmotische potentiaal (Amsing mededeling) wat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een hoge concentratie mannitol. Het vocht smaakt zoet. Door de hoge potentiaal zuigen dergelijke champignons veel water uit het substraat. Dit water wordt door poriën van de champignon ongeremd naar buiten geperst. Deze zogenaamde huilende champignons veroorzaken plaatselijk zeer vochtige plekken op de dekaarde. Met name in de reuzenteelt komt dit verschijnsel regelmatig voor en kan een flinke schade geven. Het is onbekend hoe dit te voorkomen is.



Fig 9. Huilende champignon.

3.8 Watergeven

3.8.1 Dekaaarde

Onderzoek eind jaren 80 (Amsing 1990) toonde aan dat dekaarde, zoals dat door Nederlandse dekaardeproducenten aan champignontelers werd afgeleverd, gedurende het op vocht sproeien niet meer dan 5 liter per m^2 kon opnemen. Gemiddeld steeg het vochtgehalte van de dekaarde van 68% naar 70%. In Fig 10 is te zien dat een watergift met meer dan 7 liter per m^2 niet leidde tot een stijging van het gewicht van de dekaarde maar tot een stijging van het gewicht van de compost. Blijkbaar werd een grote hoeveelheid water die op de dekaarde gesproeid werd doorgegeven aan de compost. Bij een sproeiniveau van 15 liter per m^2 ging iets meer dan de helft daarvan naar de compost. Het substraat werd indertijd handmatig verwerkt en het onderzoek werd in teeltkisten uitgevoerd.

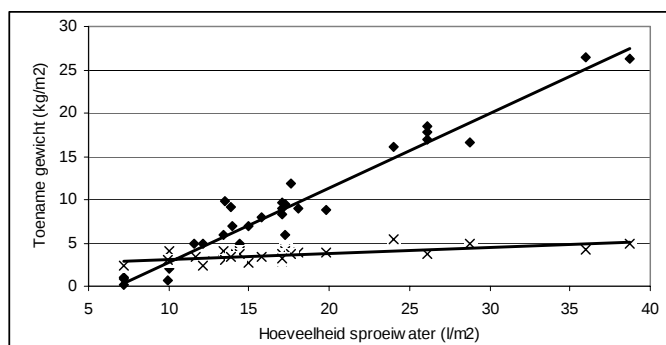


Fig 10. Toename in gewicht van compost (◆) en dekaarde (x) na het op vochtsproeien van de dekaarde (Amsing, 1990).

De laatste 15 jaar is de hoeveelheid schuumaarde in de dekaarde verlaagd en is het aandeel stortveen verhoogd. Het asgehalte van de dekaardes ging daardoor omlaag van circa 55% naar 30 tot 40% (databank PPO-Paddestoelen). Naar verwachting is door deze verlaging van het asgehalte en daardoor verhoging van het organische stofgehalte, het wateropnemend vermogen van de huidige dekaardes verbeterd. Mogelijk zijn de waterabsorberende eigenschappen van dekaarde bij machinale verwerking in teeltbedden iets hoger. Over de wateropnamecapaciteit van de huidige dekaardes zijn geen gegevens uit onderzoeken beschikbaar. Dit geldt ook voor dekaardes met mergel of steenslijpsel in plaats van schuumaarde en van dekaardes met kokosvezels.

Kalberer (1983, 1985) stelde vast dat bij toepassing van verschillende diktes dekaarde de champignonopbrengst het hoogst was op een dikkere laag dekaarde. De eenvoudigste verklaring hiervoor is dat de grotere hoeveelheid water in de dikkere laag dekaarde een hogere opbrengst veroorzaakt. De onttrekkingen van de hoeveelheden water uit de dekaardes (Kalberer 1983, 1985) ondersteunt deze verklaring.

3.8.2 Compost

Een onderzoek van Amsing (1990) liet zien dat het vochtgehalte van de doorgroeide compost invloed heeft op de wateropnamecapaciteit na vullen in de cel. Een vochtige compost neemt relatief weinig water op. Er percoleert daardoor meer water naar de onderlaag van de compost. Bij gebruik van dicht plastic folie raakt de onderlaag eerder verzadigd. De kans neemt toe dat deze laag gaat rotten. Het vochtgehalte kan oplopen tot 80% – 83% en de pH tot 7.5 – 7.9 (Amsing 1993). Metingen lieten zien dat uit compost met dergelijke eigenschappen minder droge stof verdwijnt. Productie en kwaliteit aan champignons hoeven hierdoor niet meteen af te nemen. De midden- en bovenlaag van de compost kunnen tot op zekere hoogte het tekort in afbraak in de onderlaag compenseren.

Gerrits & Amsing (1994) lieten zien dat het vasthouden van vocht door het gebruik van dicht plasticfolie onder de compost belangrijk is. Het effect van plastic folie onder de compost is afhankelijk van het vochtgehalte van de doorgroeide compost. Bij droge composten heeft plastic meer effect dan bij vochtige composten. Bij een zeer vochtige compost wordt de opbrengst niet meer verhoogd. In extreme situaties zoals een vochtige compost met hoge watergiften kan plastic schade veroorzaken (Amsing et al 1992, Amsing 1993). Het gesproeide water verdeelt zich namelijk niet homogeen over de laag compost. Hoe vochtiger de doorgroeide compost is en hoe meer water wordt gesproeid tot afventileren, des te meer water komt onderin de compost op het plastic te staan. Een laag van enkele centimeters dik onderin de compost raakt verzadigd en gaat binnen een week na het vullen van de cel rotten. Compost met een vochtgehalte van 75% loopt een risico tot verzadiging en rotting. Een duidelijke rotting treedt op bij composten met een vochtgehalte van 80% en hoger.

Een doorgroeide compost van goede kwaliteit houdt tijdens het op vocht sproeien nauwelijks water vast. In een onderzoek van Amsing (1990) bleek dat het vochtgehalte van de compost, die gevuld is op een nylon net, slechts 1% omhoog gaat na een watergift aan de dekaarde van 25 liter per m². Een slecht doorgroeide compost, bijvoorbeeld met een te korte myceliumgroei, vertoont de eigenschap het water juist te goed te absorberen. De bovenlaag van de compost raakt dermate verzadigd, dat het mycelium gedeeltelijk afsterft.

Amsing (2003) deed onderzoek aan de waterabsorberende eigenschappen van doorgroeide compost. De structuur van de compost werd gekarakteriseerd door een vijftal bepalingen, de fractieverdeling van compostdeeltjes, de bulkdichtheid (volumegegewicht), de veerkracht, de wateropnamecapaciteit en de waterdoorlatendheid. Er werden proefcomposten voor de teelt van champignons bereid die verschilden in het vochtgehalte, de lengte van de strodelen en de tijdsduur van de myceliumgroei. De bepalingen gaven aan dat hoe hoger het vochtgehalte was en hoe korter de myceliumgroei had geduurd, hoe hoger de bulkdichtheid en veerkracht waren, maar hoe minder water kon worden geabsorbeerd en hoe hoger de waterdoorlatendheid was (Fig 11 t/m 14). Gerrits et al (1997) stelden vergelijkbare relaties vast tussen het vochtgehalte van de doorgroeide compost, de bulkdichtheid en de wateropnamecapaciteit.

Amsing (2003) verrichtte ook onderzoek aan fracties van compost; compost uitgezeefd in fracties met verschillende lengtes van de compost/strodeeltjes. Het bleek dat hoe langer de deeltje waren hoe hoger het vochtgehalte en hoe lager de bulkdichtheid, de veerkracht en de wateropnamecapaciteit. De kleinste fractie had het laagste vochtgehalte, maar had, in tegenstelling tot droge doorgroeide composten, de hoogste bulkdichtheid. De veerkracht vertoonde ook een opvallend verschil tussen de fracties. De kleinste fractie, de compostdeeltjes kleiner dan 5 mm, bleek de meeste veerkracht te hebben. De wateropnamecapaciteit van de kleinste fractie was hoger dan uit de samenstelling (organische stof en as) verklaard kon worden. Dit kwam waarschijnlijk doordat de kleine deeltjes een hogere matrix(zuig)kracht op het water ontwikkelden.

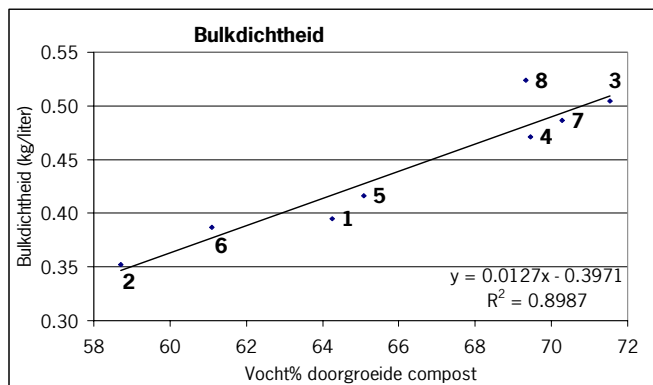


Fig 11. Invloed van het vochtgehalte van de doorgroeide composten op de bulkdichtheid (Amsing 2003).

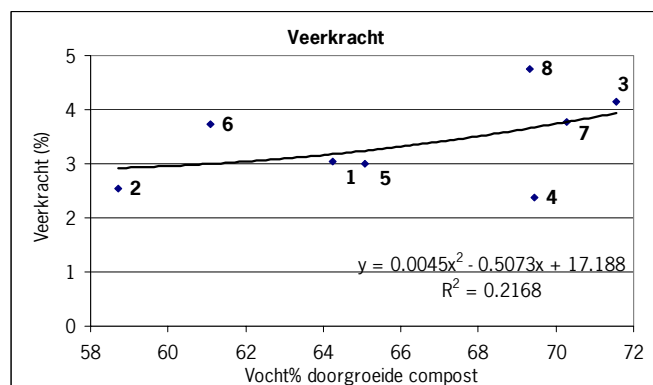


Fig 12. Invloed van het vochtgehalte van de doorgroeide compost op de veerkracht (Amsing 2003).

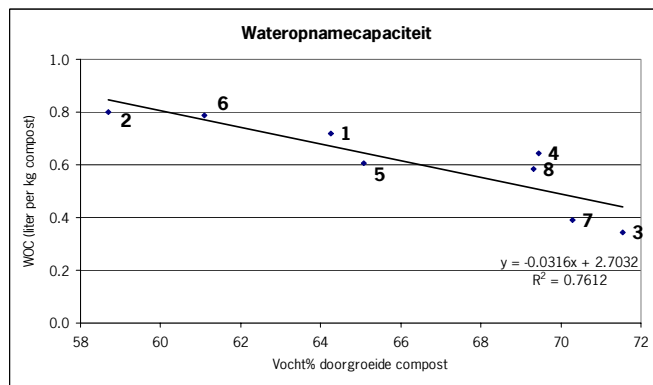


Fig 13. Invloed van het vochtgehalte van de doorgroeide compost op de wateropnamecapaciteit (Amsing 2003).

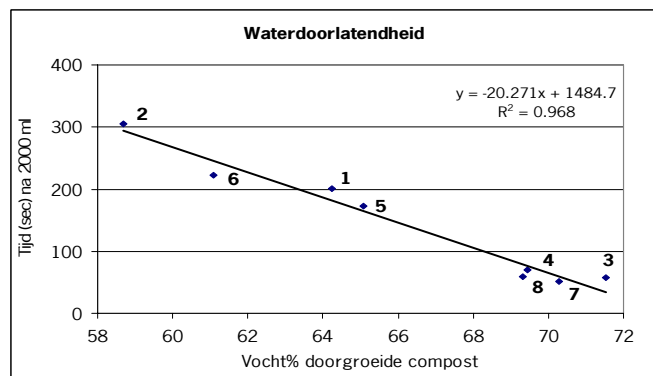


Fig 14. Invloed van het vochtgehalte van de doorgroeide compost op waterdoorlatendheid (Amsing 2003).

De teler vindt het gunstig als een compost in de hand na samenknijpen terug veert. De ervaring is dat een dergelijke compost een goed vochtgehalte heeft (iets droog tot normaal niveau) en een goede structuur bezit (normaal tot iets ruig van samenstelling). De teler zal meer compost in de bedden durven vullen. Mogelijk schuilt hierin het gevaar dat in een dergelijke compost meer fijne compostdeeltjes aanwezig zijn en daardoor veel water wordt geabsorbeerd. De kans op een storende laag bovenin de compost neemt daardoor toe. Het vreemde is dat de fractie met de langste compostdelen de laagste veerkracht bezit. Waarschijnlijk leveren fysische metingen aan fracties van compost belangrijke informatie over de eigenschappen en reacties van de compost tijdens de teelt in de cel.

Het verloop van de vochtgehalten van compost en dekaarde tijdens het teeltverloop wordt niet, hooguit zelden, gemeten. Het is onbekend wat de optimale vochtgehalten tijdens het teeltverloop zijn. De teelthandelingen lijken er op gericht om het substraat zo vochtig mogelijk te maken en te houden: watergeven aan doorgroeide compost bij het vullen (Hermans 2004), doorgroeide compost vullen op plastic folie en het 'op vocht' sproeien van de dekaarde met grote hoeveelheden water. Aandachtspunten zijn eventueel een onvoldoende verdeling van het vocht in het substraat door verslempen en 'inklinken' van dekaarde. Uitdroging van de dekaarde, snelverlopend tijdens de uitgroei van de eerste vlucht, kan tot 'inklinken' van de dekaarde leiden. Hierdoor raakt het contact tussen dekaarde en compost verstoord. Dit laat zich niet goed herstellen en het leidt tot een slechte verdeling van het water dat gespreoid wordt. Champignonmycelium heeft waterafstotende eigenschappen en ook dit levert problemen op met de opname en verdeling van water dat gespreoid wordt.

Het toepassen van druppelbevloeiing in de champignonteelt werd onderzocht door Lomax (1987) en Desrumaux et al (2004a). Het vervangen van sproeien door druppelbevloeiing bood onder de toegepaste omstandigheden weinig voordelen. PPO-Paddestoelen heeft onlangs een teeltproef uitgevoerd met een bepaald type slang in de compost om water te geven in de compost op het moment van de vluchtingroei. Dit leidde tot een flinke bijstelling van het vochtgehalte in de compost naar boven met daaraan gekoppeld een verhoging van de champignonopbrengst van ongeveer 15%. De gedachte achter de aanpak was dat een vlucht vlak voor de oogst om veel voeding en om veel water vraagt.

3.8.3 Watergeven in de praktijk.

Relevante ontwikkelingen gedurende het laatste decennium in de Nederlandse champignonsector zijn voor dit project: gelijktijdig vullen van de cel met compost en dekaarde, watergeven aan doorgroeide compost tijdens het vullen van de cel (Derks 2004, Desrumaux et al 2004b, Hermans 2004), afdekken met dekaardes met een hoger vochtopnemend vermogen, toepassen van CAC'en en Cacing Inoculum, watergeven met een sproeirobot, dekaarde na het op vocht brengen niet opruwen, klimaat regelen op basis van het vochtdeficit (Gielen 2002) en WVC (Gielen 2004). Mede hierdoor zijn de teelten versneld. In een snel teeltschema kan een teeltcel reeds vijf of zes dagen na vullen en afdekken worden afgeventileerd. Dit heeft als nadeel dat er minder tijd is om een eventueel suboptimaal vochtgehalte van dekaarde en/of compost te corrigeren. Teeltbedrijven hechten daarom veel belang aan een constante samenstelling van de grondstoffen voor de teelt. Men geeft telkens aan dat het aan deze constantheid ontbreekt en er wordt wel opgemerkt dat men tevreden zou zijn met compost en dekaarde die niet optimaal productief zijn maar wel constant zijn van samenstelling en telkens gelijk, voorspelbaar, reageren op teelthandelingen. Het is voor de teler altijd weer 'spannend' wat voor grondstoffen er komen en hoe ze reageren op de wijze van vullen en water geven. Aspecten als vuldikte, vulgewicht, aandrukken, intreksnelheid van compost in de bedden, contactlaag tussen compost en dekaarde, de sproeihoeveelheid en -patroon gedurende de eerste week na vullen bepalen in belangrijke mate het teeltresultaat. Als een champignonteler een ongewenste situatie verwacht betreffende bijvoorbeeld het vochtgehalte en structuur in dekaarde en/of compost, zal hij daarop willen anticiperen. En als eenmaal een ongewenste situatie zich voordoet zal hij dat proberen te corrigeren. Een gunstige reactie op een handeling is echter niet zeker, zodat een regelmatige controle van de teelt, zelfs na elke sproeibeurt, geboden is.

Voor een goede beoordeling zijn tot nog toe geen betrouwbare meetmethoden voor de teler beschikbaar. Om een indruk te krijgen van de kwaliteit van de compost neemt hij de compost in de hand, knijpt erin en beoordeelt het subjectief op vochtgehalte, structuur, veerkracht, geur en kleur. De dekaarde is lastiger te beoordelen. Pas achter de afdekmaschine krijgt de teler een eerste indruk van het

wateropnemend vermogen.

De volgende problemen komen vaak voor, veroorzaken opbrengstderving en ontstaan mede door een verkeerde inschatting van substraateigenschappen (Amsing et al 2001, 'Teelttips' uit het tijdschrift 'Paddestoelen', discussies in studieclubs):

- een massale myceliumgroei in de dekaarde, waardoor het slecht water vasthoudt, snel uitdroogt en verhardt,
- anaërobe plekken tijdens het watergeven op een grove dekaarde; hier groeit geen mycelium,
- verslemping van de dekaarde waardoor het watertransport in de dekaarde wordt verstoord,
- dekaarde spoelt uit en veroorzaakt daardoor een slechte myceliumgroei bovenin de compost,
- compost neemt te veel water op met rotting als gevolg,
- compost neemt te weinig water op met uitdroging als gevolg,
- de compost is te waterafstotend, waardoor water bovenin blijft hangen en een verstoorde laag ontstaat,
- bevochtiging van de compost heeft een koelende werking en verlaagt de activiteit te sterk.

Over de wijze waarop in de praktijk geanticipeerd wordt op te verwachten effecten en hoe gecorrigeerd wordt op ongewenste situaties, volgen enkele voorbeelden:

- Het bedrijfsleven vindt het vulgewicht in relatie tot de vuldikte (de bulkdichtheid / het volumegewicht) een redelijk betrouwbare maatstaf voor structuur en vochtgehalte. Twee uitersten illustreren dit. Als bij een vuldikte onder de ketting van 30 cm 105 kg compost per m² is gevuld, weet de teler dat hij in de meeste gevallen te maken heeft met een vochtige, zachte en korte compost. In de hand veert deze compost nauwelijks terug. De teler weet uit ervaring dat een dergelijke compost gemakkelijk water kan absorberen en weinig water kan verdragen. Geadviseerd wordt in een dergelijke situatie de eerste 2 dagen niet meer dan 2 watergiften à 3 l per m² te geven. Toch is ook dan niet uitgesloten dat problemen kunnen ontstaan.

Het andere uiterste is een compost die zo droog, hard of lang is, dat daarmee in een laag van 40 cm minder dan 100 kg per m² kan worden gevuld. Een dergelijke compost kan de eerste dagen na vullen gemakkelijk veel water verdragen. Het advies is dat de eerste 2 dagen in totaal 2 sproeibeurtten à 8 l per m² gegeven mag worden.

- Is door een verkeerde beoordeling veel zachte, korte en vochtige compost in de bedden gevuld, is deze stevig aangerold en wordt de eerste dagen veel water op de dekaarde gespreid, bijvoorbeeld 8 l per m² per dag, dan blijft te lang, te veel water boven in de compost hangen. Het gevolg is dat meteen onder de dekaarde een verstoorde laag compost ontstaat van enkele centimeters dik. De compost is nat en wordt donkerder. In het extreme geval sterft het mycelium af en gaat de compost rotten. Als gevolg van te weinig mycelium op het grensvlak van compost en dekaarde is geen goed transport van water en voedingsstoffen meer mogelijk. Na de sproeiperiode herstelt het mycelium zich op de grenslaag moeizaam. In samenhang daarmee groeien de knoppen vaak traag uit. Dit heeft verlies van opbrengst en kwaliteit van de champignons tot gevolg. Bovendien is er eerder kans op groene schimmel. Door op te ruwen zou een verstoorde tussenlaag eventueel kunnen worden hersteld. Dit is echter meestal niet de oplossing omdat door opruwen ook meer compost in de dekaarde wordt gemengd. Daardoor wordt de teelt 1 à 2 dagen vertraagd en wordt de knopvorming beïnvloed. Het onder de dekaarde door water geven aan de compost is een interessante optie om structuurbederf van de dekaarde te voorkomen.

- De kans op een verstoorde tussenlaag kan verkleind worden door vochtige, zachte en korte compost losser te vullen. Dit betekent dat de aandrukrollen op de kopvulmachine hoog moeten staan. Verder dient ervoor gezorgd te worden dat de bovenlaag van de compost zo ruw mogelijk wordt gemaakt voordat er dekaarde opkomt. Water dat tijdens het op vocht brengen van de dekaarde naar de compost sijpelt, verdeelt zich dan gelijkmatig over de hele laag compost. Verder dient de teler steeds nauwlettend te beoordelen of het water na het sproeien niet ophoopt boven in de compost. Door de compost tijdens het vullen sneller in de cel te trekken, ontstaan kieren in de compost. Door deze kieren kan een overmaat aan water weg sijpelen en is de kans op een verstoorde tussenlaag beperkt.

- Is te verwachten dat de compost na het vullen actief wordt, dan dient deze ook los gevuld te worden. De temperatuurpiek in de compost kan dan door flink sproeien worden opgevangen. Het water verspreidt zich weliswaar niet homogeen over de hele laag compost, maar kan deze toch enigszins afkoelen.

3.9 Vochtsensoren

In land- en tuinbouw wordt onderzoek gedaan naar de ontwikkeling en toepassing van vochtsensoren, bijvoorbeeld bij irrigatie. De vochtstatus van een substraat kan met verschillende parameters beschreven worden en volgens verschillende principes gemeten worden. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 2. In 1987 heeft Lomax en in 1989 heeft Balascio een aantal technieken onderzocht op de geschiktheid om in dekaarde en compost het vochtgehalte te meten. Het doel was om een automatisch watergeefstelsel te ontwikkelen. Gezocht werd naar technieken waarmee continu het vochtgehalte kon worden gemeten. De methode van monsternamen en droging in een oven viel af vanwege het feit dat de methode destructief is en veel tijd kost. De toegepaste meetmethodes waren gebaseerd op de elektrische geleidbaarheid, de waterpotentiaal en de dielektrische constante. De onderzoekers stelden vast dat tussen de dielektrische constante en het vochtgehalte van het substraat het verband het duidelijkst was. De Time Domain Reflectometry (TDR) is op het dielektrische principe gebaseerd. Beyer et al (2000) hebben deze TDR-techniek toegepast in champignonenteelten. Noble et al (2000) hebben continu dielektrische metingen gedaan met een ThetaProbe. Voor het sturen van de matrixpotentiaal in dekaarde hebben Noble et al (2000) testen uitgevoerd met een elektronische tensiometer met aan het uiteinde van de sensor een ceramische cup. De resultaten bieden perspectief op continue meting. Voor praktijkteelten lijken sensoren nog onvoldoende geschikt. De heterogeniteit van compost en dekaarde is op microschaal zodanig groot dat meetwaarden hierdoor beïnvloed worden. Als een TDR sensor een aantal malen wordt aangebracht in dezelfde compost blijken variabele meetwaarden verkregen te worden. Telers die deze variatie ervaren hebben, hebben om deze reden afgezien van verder gebruik van een sensor. Een meetwaarde voor de waterpotentiaal is niet direct om te rekenen naar een vochtgehalte. Het is daarom niet gemakkelijk om uit te rekenen hoeveel water er aan het substraat zou dienen te worden toegevoegd om een gewenst gehalte te bereiken.

Straatsma (2005) plaatste teeltkisten in de proefkwekerij van PPO-Paddestoelen op een continue metende weeginstallatie (Fig 15). Er werden stabiele meetwaarden verkregen die een nauwkeurig beeld gaven van het gewichtsverlies onder andere veroorzaakt door verdamping. In combinatie met berekeningen over het droge stof verlies kan een weeginstallatie in beginsel als een vochtsensor worden toegepast. In de periode van drie dagen voor de oogst bedroeg het gewichtsverlies uitgedrukt per ton doorgroeide compost bij het vullen 9.5 kg per dag. Uit Tabel 1 is af te leiden dat tijdens de vluchtontwikkeling op een snijbedrijf er ongeveer 18 kg water per ton doorgroeide compost per dag verdwijnt. Dit laatste getal is hoger dan wat door weging in de teeltproef bij PPO-Paddestoelen werd gevonden. Mogelijk dat teeltkisten gemakkelijk warmte verliezen door uitstraling en geleiding (Amsing mededeling) en dat daardoor minder warmte afgevoerd wordt door verdamping.

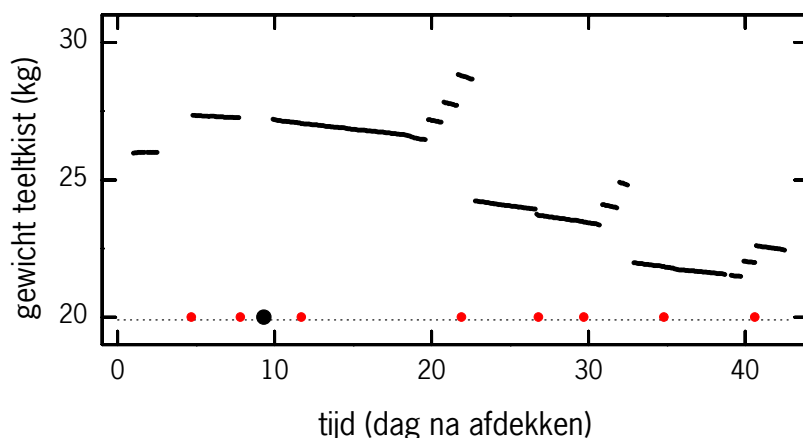


Fig 15 (Straatsma 2005, Fig 3). Gewichtsverloop van een teeltkist tijdens de teelt. Gewichtsverliezen door verdamping, droge stof afbraak en afvoer champignons. Op de stippellijn op het niveau van 20 kg is met rode punten aangegeven wanneer waarnemingen aan percolaat zijn gedaan; het zwarte punt geeft het moment van afventileren aan. Bij de uitgroei van de vluchten werd dagelijks gesproeid. De vluchten werden op één dag geoogst zoals een snijteelt.

De osmotische potentiaal van een oplossing kan bepaald worden met een osmometer. Voor zover de osmotische kracht bepaald wordt door opgeloste zouten kan een meting van de elektrische geleidbaarheid (EC) een indicatie geven over de osmotische waarde. Bij champignons is dit gedaan door Van Loon (2002a). In de dekaardesector wordt wel gebruik gemaakt van EC-metingen. Door recente ontwikkelingen in teeltmethodiek, waaronder toediening van zouten in dekaarde om de kwaliteit van de champignons te verhogen, neemt dit mogelijk toe.

De totale waterpotentiaal van substraat en champignons, het totaal van de osmotische en matrix potentialen kan met een hygrometer in een speciale temperatuur gecontroleerde en gesloten meetcel met een 'headspace' voor de hygrometer, gemeten worden. Beecher et al (2001) deden dit bij stukjes hoedweefsel van champignons. Mouterij Albert (Antwerpen, Heineken concern) past deze methode toe bij de vochtmetingen van gedroogde mout.

Tabel 2. Parameters om de vochtstatus van substraten in de champignonteelt te karakteriseren (indeling deels gebaseerd op Charlesworth 2000).

parameter	eenheid	meetprincipe	type	toegepast in champignonteelt
gravimetrisch vochtgehalte	gewichtspercentage	wegen, drogen, wegen		zeer algemeen
volumetrisch vochtgehalte	volumepercentage	wegen, drogen, wegen; x bulkdichtheid di-electrisch	TDR, time domain reflectometry FD, frequency domain reflectometry	Beyer et al 2000 Balascio & Lomax 1989, Noble et al 2000
matrix potentiaal	Pa, Pascal	'porous media instruments'	tensiometer	Djakaria 1990, Harper 1991, Noble et al 1999, 2000
totale wateractiviteit, totaal van osmotische en matrix potentiaal	idem	hygrometer	temperatuur stabiele, gesloten meetcel met 'headspace'	Beecher et al 2001

4 Conclusies

- In de korte tijd dat de eerste vlucht zich ontwikkelt wordt bijna 30% van het in de compost en dekaarde aanwezige vocht afgevoerd. Dit illustreert de dynamiek van de vochthuishouding tijdens de teelt.
- Binnen het gangbare teeltsysteem zijn vocht en stikstof belangrijke opbrengstbepalende factoren. De vochthuishouding heeft een dynamisch verloop. Een optimale voorziening met vocht tijdens de teelt is daardoor twijfelachtig. Een suboptimale vochtvoorziening kan andere factoren die van belang zijn voor een goede teelt overschaduwen. De realisatie van een optimale vochtvoorziening levert onder die omstandigheden meer op dan inspanningen op het gebied van andere factoren.
- Verdamping door champignons is geen absolute voorwaarde voor transport van vocht en voeding naar champignons en voor hun groei. De kracht die voor transport nodig is wordt waarschijnlijk geleverd door de relatief hoge osmotische waarde van de levende celinhoud in vruchtlichamen. Verdamping heeft effect op de vochthuishouding en heeft invloed op de temperatuur.
- Voor het stimuleren van de 'activiteit' is controle over de ontwikkelingsprocessen van de champignon nodig. Nadat de primordiavorming is afgesloten gaan primordia uitgroeien tot vluchten. Bij de vluchtingroei stijgt de vraag naar voeding die leidt tot een stijging van de afbraak van compost en tot een toename van de activiteit.
- De gangbare vochtbepaling van een substraat, een 'gravimetrische' bepaling door middel van wegen, drogen en terugwegen, geeft geen nauwkeurige informatie over de hoeveelheid water in het substraat die beschikbaar is voor mycelium en vruchtlichamen van de champignon. Bepaling van de totale waterpotentiaal van een substraat doet dat in beginsel wel.

5 Suggesties voor onderzoek

Op basis van de literatuurstudie lijkt het logisch om de volgende lijnen voor vervolgonderzoek uit te zetten:

- Om aan de grote vraag naar water door uitgroeiende champignons te kunnen voldoen dienen compost en dekaarde een zekere hoeveelheid water te bevatten. Over de hoeveelheid water die bij het vullen aan doorgroeide compost kan worden toegediend is onvoldoende bekend. Telers geven aan dat dit afhankelijk is van de composteigenschappen. Een vergelijkend onderzoek aan verschillende partijen compost met verschillende niveaus van water toediening kan hierover belangrijk, direct toepasbaar nieuw inzicht opleveren.
- Om te voldoen aan de grote vraag naar water dienen methodes ontwikkeld te worden om water direct in de compost aan te brengen op het moment van de vraag. Er is een aanwijzing verkregen uit een proef bij PPO-Paddestoelen dat dit realiseerbaar is met een bepaald type slang. De methode van direct aanbrengen van water in compost met het bepaalde slangtype kan bij praktijkbedrijven worden uitgetoetst om de toepasbaarheid vast te stellen.
- Het verloop van de vochtgehalten in dekaarde en compost vanaf de uitgroei van de eerste vlucht, in afhankelijkheid van de manier van sproeien, is onvoldoende bekend. Over het verloop van de beschikbaarheid van water, door meting van de totale waterpotentiaal, is vrijwel niets bekend. Door metingen kan het inzicht vergroot worden waaruit optimalisaties kunnen worden afgeleid.
- De verdamping tijdens de uitgroei is meer een gevolg dan een oorzaak voor de activiteit van mycelium in compost. De functionele betekenis van myceliumactiviteit bij de verschillende deelprocessen van knopvorming en uitgroei is onvoldoende duidelijk. Daarmee is ook onduidelijk met welke parameters deze processen tijdens de teelt te sturen zijn. Verder onderzoek op dit gebied kan leiden tot de ontwikkeling van nieuwe sturingsmethoden voor knopvorming en uitgroei.
- In een teeltsysteem met vaste stof, zoals met compost en dekaarde, is de beschikbaarheid van vocht en voeding aan het oppervlak van het mycelium niet gegarandeerd. In een systeem met een vloeibare voedingsoplossing is er altijd direct contact tussen mycelium en water met voedingsstoffen en kan de voeding in beginsel veel beter worden verzorgd. De ontwikkeling van een nieuw teeltsysteem kan leiden tot grote verbeteringen in de voeding van champignons waardoor de controle over de kwaliteit van champignons sterk kan verbeteren. Voor een dergelijk systeem zou een onderzoek gedaan kunnen worden naar de mogelijkheden voor een combinatie van een inert dragermateriaal en een irrigerende voedingsoplossing met koolhydraat, stikstof en andere mineralen.

Dankwoord

Graag bedanken wij Dr. Ir. Jacqueline Baar voor het kritische commentaar op het concept van dit rapport en voor aanvullende suggesties.

6 Literatuur

- Agerer R. 2002. Rhizomorph structures confirm the relationship between Lycoperdales and Agaricaceae (Hymenomycetes, Basidiomycota). *Nova Hedwigia* 75, 367-385.
- Amir R, Steudle E, Levanon D, Hadar Y & Chet I. 1995. Turgor changes in *Morchella esculenta* during translocation and sclerotial formation. *Experimental Mycology* 19, 129-136.
- Amsing JGM. 1990. De waterhuishouding van een champignonbed. Invloed van watergeven en plastic folie onder de compost. *De Champignoncultuur* 34, 251-259.
- Amsing JGM. 1992. De invloed van water geven op bruinverkleuring van de champignon *Agaricus bisporus*. *De Champignoncultuur* 36, 449-459.
- Amsing JGM & Gerrits JPG. 1992. De invloed van de bodemstructuur van teeltbedden voor champignonteelt. *De Champignoncultuur* 36, 513-525.
- Amsing JGM. 1993. Invloed van lekwater in compost op de produktie van champignons. *De Champignoncultuur* 37, 13-25.
- Amsing JGM, Gielen J & Van Doremaele R. 2001. Inventarisatie en monitoring van intern vocht op champignonteeltbedrijven. *Interne Tussenrapportage PPO-Paddestoelen*.
- Amsing JGM, Straatsma G & Van Erp PJ. 2002. Intern vocht. PPO-Paddestoelen rapport 2002-8
- Amsing JGM. 2003. Optimale watergift aan champignonsubstraat na het vullen. *PPO-Paddestoelen rapport* 2003-7.
- Amsing JGM & Straatsma G. 2004. Relatie tussen warmte- vocht- en CO₂-afgifte tijdens de teelt van champignons met groei en kwaliteit. *PPO-Paddestoelen rapport* 2004-17.
- Balascio CC. 1989. A Comparative study of moisture sensors for use in mushroom beds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(3): 928-933.
- Beecher TM, Magan N & Burton KS. 2001. Water potentials and soluble carbohydrate concentrations in tissues of freshly harvested and stored mushrooms (*A. bisporus*). *Postharvest Biology and Technology* 22, 121-131.
- Beyer DM. 1994. Compost and casing water: characteristics and behavior. *Mushroom World* 5(4), 4-10.
- Beyer DM. 1995. Compost and casing water: characteristics and behavior. *Mushroom World* 6(1), 5-20.
- Beyer DM, Lomax KM & Beelman RB. 2000. The use of Time Domain Reflectometry to monitor water relations in mushroom substrate and casing. *Mushroom Science* 15, 341-348.
- Braaksma A, Van Doorn AA-, Kieft H & Van Aelst AC. 1998. Morphometric analysis of ageing mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest development. *Postharvest Biology and Technology* 13, 71-79.
- Braaksma A, Schaap DJ & Schipper CMA. 1999. Time of harvest determines the postharvest quality of the common mushroom *Agaricus bisporus*. *Postharvest Biology and Technology* 16, 195-198.
- Burton KS. 1988a. The effects storage and development on *Agaricus bisporus* proteases. *Journal of Horticultural Science* 63, 103-108.
- Burton KS. 1988b. The effects of pre- and post-harvest development on mushroom tyrosinase. *Journal of Horticultural Science* 63, 255-260.
- Cairney JWG. 1992. Translocation of solutes in ectomycorrhizal and saprotrophic rhizomorphs. *Mycological Research* 96, 135-141.
- Charlesworth P. 2000. Soil water monitoring. CSIRO Land and Water.
- Cochrane TT & Cochrane TA. 2005. Osmotic potential properties of solutes common in the soil-plant solution continuum. *Soil Science* 170, 433-444.
- Derks G. 2004. Proef: watergeven tijdens vullen. *Samenspraak CNC* 4, 5.
- Desrumaux B, Sedeyn P, Lannoy P & Leenknecht L. 2004a. Druppelbevloeiing in de teelt van *Agaricus bisporus*. *Champignonberichten* 216.
- Desrumaux B, Sedeyn P, Desmedt H, Eeckhout M & Lannoy P. 2004b. Watertoediening in doorgroeide compost. *Champignonberichten* 199.
- Donker HCW, Van As H, Snijder HJ & Edzes HT. 1997. Quantitative H-1-NMR imaging of water in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Magnetic Resonance Imaging* 15, 113-121.
- Flegg PB. 1962. The development of mycelial strands in relation to fruiting of the cultivated mushroom.

- Mushroom Science* 5, 300-313.
- Fletcher JT. 1979. Bacteria and mushrooms. *Mushroom Journal* 82, 451-457.
- Garrett SD. 1954. Function of the mycelial strands in substrate colonization by the cultivated mushroom *Psalliota hortensis*. *Transaction of the British Mycological Society* 37, 51-57.
- Geels FP, Van Griensven LJLD & Rutjens AJ. 1991. Chlorine dioxide and the control of bacterial blotch on mushrooms, caused by *Pseudomonas tolaasii*. *Mushroom Science* 13, 437-442.
- Geels FP, Hesen LPW, Rutjens AJ & Van Griensven LJLD. 1992. Bruinverkleuring van champignons. *De Champignoncultuur* 36, 343-349.
- Gerrits JPG, Bels-Koning HC & Muller FD. 1967. Changes in compost constituents during composting, pasteurization and cropping. *Mushroom Science* 6, 225-243.
- Gerrits JPG. 1971. De invloed van water in champignoncompost. *De Champignoncultuur* 15, 303-316.
- Gerrits JPG. 1985. Vochtgehalte van doorgroeide compost. *De Champignoncultuur* 29, 363-369.
- Gerrits JPG. 1987a. Voeding en compost. In: *De Teelt van Champignons* (ed Van Griensven), 29-73.
- Gerrits JPG. 1987b. Optimaal vochtgehalte voor doorgroeide compost. *Groente en Fruit* 12 juni, 58-60.
- Gerrits JPG & Amsing JGM. 1994. Bijvoeden en plastic in relatie tot het stikstof- en vochtgehalte van doorgroeide compost. *De Champignoncultuur* 38, 381-385.
- Gerrits JPG, Amsing JGM, Straatsma G & Van Griensven LJLD. 1995. Fase I in tunnels voor de productie van *Agaricus bisporus* met speciale aandacht voor het belang van water. *De Champignoncultuur* 39, 399-409.
- Gerrits JPG, Amsing JGM & Straatsma G. 1997. Vochtgehalte en volumegewicht van indoor compost. *De Champignoncultuur* 41, 179-183.
- Gervais P & Molin P. 2003. The role of water in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal* 13, 85-101.
- Gielen JH. 2002. Energiezuinige vochtregeling. *Rapport C point*, Horst.
- Gielen JH. 2004. Relatie warmte-, vocht- en CO₂-afgifte champignonteelt met groei en kwaliteit. *Rapport C point*, Horst.
- Griffin DH. 1994. Fungal Physiology. 2nd edition. Wiley.
- Hammond JBW & Nichols R. 1975. Changes in respiration and soluble carbohydrates during the post-harvest storage of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26, 835-842.
- Hammond JBW & Nichols R. 1976. Carbohydrate metabolism in *Agaricus bisporus*: changes in soluble carbohydrates during growth of mycelium and sporophore. *Journal of General Microbiology* 93, 309-320.
- Hammond JBW & Wood DA. 1985. Metabolism, biochemistry and physiology. In: *The biology and technology of the cultivated mushroom* (eds Flegg PB, Spencer DM & Wood DA), 63-80.
- Harper E. 1991. Energy and some consequences in mushroom cropping. *Mushroom News* 39(10), 27-35.
- Heckman CA, Pelok SD, Kimpel SA & Wu LC. 1989. Scanning electron microscope studies on fruitbody primordium formation in *Agaricus bisporus*. *Mycologia* 81, 717-727.
- Hein I. 1930. Studies on the mycelium of *Psalliota campestris*. *American Journal of Botany* 17, 197-211.
- Hermans C. 1987. Celklimaat en teelttechniek. In: *De Teelt van Champignons* (ed Van Griensven), 215-251.
- Hermans C. 2004. Water geven op compost: rage of noodzaak? *Paddestoelen* 23 september, 4-5.
- Hickey PC, Swift SR, Roca MG & Read ND. 2005. Live-cell imaging of filamentous fungi using vital fluorescent dyes and confocal microscopy. *Methods in Microbiology; Microbial Imaging* 34: 63.
- Kalberer PP. 1983. Influence of the depth of the casing layer and the harvesting time on changes of the water content of the casing layer and the substrate caused by the first flush of mushrooms. *Scientia Horticulturae* 21, 9-18.
- Kalberer PP. 1985. Influence of the depth of the casing layer on the water extraction from casing soil and substrate by the sporophores, on the yield and on the dry matter content of the fruit bodies of the first three flushes of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. *Scientia Horticulturae* 27, 33-43.
- Kalberer PP. 1987. Water potentials of casing and substrate and osmotic potentials of fruit bodies of *Agaricus bisporus*. *Scientia Horticulturae* 32, 175-182.
- Kalberer PP. 1990a. Influence of the water potential of the casing soil on crop yield and on dry-matter content, osmotic potential and mannitol content of the fruit bodies of *Agaricus bisporus*. *Journal of Horticultural Science* 65, 573-581.

- Kalberer PP. 1990b. Water relations of the mushroom culture *Agaricus bisporus* study of a single break. *Scientia Horticulturae* 41, 277-284.
- Kalberer PP. 1995. Influence of the osmotic potential of the substrate on the crop yield of *Agaricus bisporus*. *Gartenbauwissenschaft* 60(4), 175-180.
- Kritskii MS, Kulaev IS, Mairova IP, Fais DA & Belozerskii AN. 1965. Translocation of Phosphates in the Sporophores of *Agaricus bisporus*. *Biokhimiya* 30, 778-789. (translated)
- Lambers H, Chapin FS & Pons TL. 1998. Plant physiological ecology. Springer.
- Lew RR. 2005. Mass flow and pressure-driven hyphal extension in *Neurospora crassa*. *Microbiology-SGM* 151, 2685-2692.
- Loeffen H, Bakker JC & Gerrits JPG. 1998. Meetmethode voor CO₂-productie van compost: meetmethode voor het bepalen van de CO₂-productie van compost als maat voor de opbrengst en opbrengstcapaciteit van compost. *IMAG-DLO* 97-13.
- Lomax KM. 1987. Watering beds with porous pipes. In *Cultivating edible fungi*. Wuest et al (eds)., 487-492.
- Mader EO. 1943. Some factors inhibiting the fructification and production of the cultivated mushroom, *Agaricus campestris* L. *Phytopathology* 33, 1134-1145.
- Magan N, Challen MP & Elliott TJ. 1995. Osmotic, matric and temperature effects on in vitro growth of *Agaricus bisporus* and *A. bitorquis* strains. *Mushroom Science* 15, 455-461.
- McGarry A & Burton KS. 1994. Mechanical properties of the mushroom, *Agaricus bisporus*. *Mycological Research* 98, 241-245.
- McKerracher LJ & Heath IB. 1987. Cytoplasmic migration and intracellular organelle movements during tip growth of fungal hyphae. *Experimental Mycology* 11, 79-100.
- Metzler B & Hecht U. 2004. Three-dimensional structure of tubular air channels formed by *Armillaria* spp. in watersaturated logs of silver fir and Norway spruce. *Canadian Journal of Botany* 82, 1338-1345.
- Miklus MB & Beelman RB. 1996. CaCl₂ treated irrigation water applied to mushroom crops (*Agaricus bisporus*) increases Ca concentration and improves postharvest quality and shelf life. *Mycologia* 88, 403-409.
- Nielsen G & Riber Rasmussen C. 1962. Transportation capabilities of mushroom mycelium determined by means of radioactive isotopes. *Mushroom Science* 5, 348-383.
- Noble R, Dobrovin-Pennington A, Evered CE & Mead A. 1999. Properties of peat-based casing soils and their influence on the water relations and growth of the mushroom (*Agaricus bisporus*). *Plant and Soil* 207, 1-13
- Noble R, Rama T & Dobrovin Pennington A. 2000. Continuous measurement of casing soil and compost water availability in relation to mushroom yield and quality. *Mushroom Science* 15, 433-440.
- Rast D. 1965. Zur Stoffwechselphysiologischen Bedeutung von Mannit und Trehalose in *Agaricus bisporus*. *Planta* 64, 81-93.
- Rast D. 1966. Translokation von Mannitol im Fruchtkoerper von *Agaricus bisporus*. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* 76, 176-184.
- Riber Rasmussen C. 1959. Controlled air movement and its effect on cropping yields. *Mushroom Science* 5, 222-234.
- San Antonio & Flegg 1964. Transpiration from the sporophore of *Agaricus bisporus* 'White'. *American Journal of Botany*, 51: 1129-1132.
- Scheenen T, Heemskerk A, de Jager A, Vergeldt F & Van As H. 2002. Functional imaging of plants: A nuclear magnetic resonance study of a cucumber plant. *Biophysical Journal* 82, 481-492.
- Schuetz KH. 1956. Translocation in the fungi. *New Phytologist* 55, 164-182.
- Seaby DA. 1995. Mushroom (*Agaricus bisporus*) yield modelling for the bag method of mushroom production using commercial yields and from micro plots. *Mushroom Science* 14, 409-416.
- Smits THM, Wick LY, Harms H & Keel C. 2003. Characterization of the surface hydrophobicity of filamentous fungi. *Environmental Microbiology* 5, 85-91.
- Stijve T & Diserens H. 1988. Harnstoff in Speisepilze. *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 84, 248-252
- Stoop JMH & Mooibroek H. 1998. Cloning and characterization of NADP mannitol dehydrogenase cDNA from the button mushroom, *Agaricus bisporus*, and its expression in response to NaCl stress. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 4689-4696.
- Straatsma G, Gerrits JPG, Thissen JTNM, Amsing JGM, Loeffen H & Van Griensven LJLD. 2000. Adjustment of the composting process for mushroom cultivation based on initial substrate composition.

- Biosource Technology* 72, 67-74.
- Straatsma G. 2002. Achtergronden over groei, transport en verdamping. *Groenten en Fruit, Paddestoelen* 20, 14.
- Straatsma G. 2004. Processing and composition of mushroom compost. *Mushroom Science* 16, 241-246.
- Straatsma G. 2005. Meten en regelen van het vochtgehalte in compost en dekaarde in de champignonenteelt. *PPO-Paddestoelen rapport* 2005-2.
- Tschierpe HJ & Sinden JW. 1962. Studies on the composition of horse manure compost from beginning of Phase II through mushroom cropping as related to CO₂ evolution. *Mushroom Science* 5, 61-80.
- Turner EM. 1977. Development of excised sporocarps of *Agaricus bisporus* and its control by CO₂. *Transactions of the British Mycological Society* 69, 183-186.
- Turner EM, Wright M, Ward T, Osborne DJ & Self R. 1975. Production of ethylene and other volatiles and changes in cellulase and laccase activities during the life cycle of the cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*. *Journal of General Microbiology* 91, 167-176.
- Umar MH & Van Griensven LJLD. 1997a. Hyphal regeneration and histogenesis in *Agaricus bisporus*. *Mycological Research* 101, 1025-1032.
- Umar MH & Van Griensven LJLD. 1997b. Morphological studies on the life span, developmental stages, senescence and death of fruit bodies of *Agaricus bisporus*. *Mycological Research* 101, 1409-1422.
- Umar MH & Van Griensven LJLD. 1998. The role of morphogenetic cell death in the histogenesis of the mycelial cord of *Agaricus bisporus* and in the development of macrofungi. *Mycological Research* 102, 719-735.
- Unestam T & Sun YP. 1995. Extramatrical structures of hydrophobic and hydrophilic ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5, 301-311.
- Van Loon PCC. 1998. Drogestofgehalte is een maat voor kwaliteit. *Groenten en Fruit* 24, 26-27.
- Van Loon PCC. 2000. Dry matter content in mushrooms (*Agaricus bisporus*) as an indicator for mushroom quality. *Mushroom Science* 15, 507-513.
- Van Loon PCC. 2002a. Effect van CaCl₂ op kwaliteit en productie van champignons. Een literatuurstudie. *PPO-Paddestoelen rapport* 2002-3.
- Van Loon PCC. 2002b. Verbetering van de champignonkwaliteit door toediening van calciumchloride (CaCl₂). *PPO-Paddestoelen rapport* 2002-23.
- Versleijen J. 1990. Onderzoek in de champignonenteelt. Droge stofafbraak tijdens de teelt van champignons. *Stageverslag*. Proefstation voor de Champignoncultuur.
- Von Willert DJ, Matyssek R & Herppich W. 1995. *Experimentelle Pflanzenoekologie*. Thieme.
- Wagemaker MJM, Welboren W & Van der Drift C, et al. 2005. The ornithine cycle enzyme arginase from *Agaricus bisporus* and its role in urea accumulation in fruit bodies. *Biochimica et Biophysica Acta - Gene Structure and Expression* 1681, 107-115.
- Wannet WJB, Aben EMJ & Van der Drift C, et al. 1999. Trehalose phosphorylase activity and carbohydrate levels during axenic fruiting in three *Agaricus bisporus* strains. *Current Microbiology* 39, 205-210.
- Wannet WJB, van der Drift C, Op den Camp HJM & Van Griensven LJLD. 2000. Trehalose and mannitol metabolism in *Agaricus bisporus*. *Mushroom Science* 15, 63-70.
- Wood DA & Goodenough PW. 1977. Fruiting of *Agaricus bisporus*; changes in extracellular enzyme activities during growth and fruiting. *Archives of Microbiology* 114, 161-165.
- Wood DA, Craig GD, Atkey PT, Newsan RJ & Gull K. 1985. Ultrastructural studies on the cultivation processes and growth and development of the cultivated mushroom *Agaricus bisporus*. *Food Microstructure* 4, 143-164.
- Zivanovic S, Buescher RW & Kim KS. 2000. Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. *Journal of Food Science* 65, 1404-1408.